



**Aalto-yliopisto**  
Insinööritieteiden  
korkeakoulu

Mika Ridanpää

## **Kiertoliittymien välityskyky**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 2.5.2016

Valvoja: Professori Tapio Luttinen

Ohjaajat: DI Åsa Enberg ja DI Virpi Ojala

---

**Tekijä** Mika Ridanpää

---

**Työn nimi** Kiertoliittymien välityskyky

---

**Koulutusohjelma** Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka

---

**Pää-/sivuaie** Liikenne- ja tietekniikka

---

**Koodi** R3004

---

**Työn valvoja** Professori Tapio Luttinen

---

**Työn ohjaaja(t)** DI Åsa Enberg ja DI Virpi Ojala

---

**Päivämäärä** 2.5.2016

---

**Sivumäärä** 145 + 35

---

**Kieli** Suomi

---

## Tiivistelmä

Tässä työssä on tutkittu kiertoliittymien välityskykyä maastomittausten sekä suomalaisen, hollantilaisen, tanskalaisen, yhdysvaltalaisen ja saksalaisen välityskyvyn laskentamenetelmän avulla. Myös välityskyvyn määrittämisessä tarvittavat parametrit eli kriittinen aikaväli, purkautumisaikaväli ja kiertävän liikenteen minimiaikaväli pyrittiin estimoimaan maastomittausten avulla. Maastomittauskohteina oli kolme osittain kaksikaistaista ja kaksi yksikaistaista kiertoliittymää.

Mittausmenetelmänä käytettiin videokuvausta. Kuvauksia tehtiin sekä aamu- että iltaruuhkassa syys-lokakuussa vuosina 2014 ja 2015. Aineistoa videokuvauksista käsiteltiin aamuruuhkista noin 1–2,5 tuntia ja iltaruuhkista noin 1–3,5 tuntia per liittymä.

Vain kolmessa tutkimuskohteessa välityskyky saavutettiin ja mittaushavaintoja saatiin välityskykyvertailuun. Eri laskentamenetelmillä saatuja välityskykyarvioita verrattiin mitattuun liikennemäärään. Tanskalainen menetelmä yliarvioi ja muut tutkitut menetelmät aliarvioivat välityskykyä.

Kriittiselle aikavälille arvioitiin estimaatteja suurimman uskottavuuden (maximum likelihood) ja Raffin menetelmällä. Arvot olivat 2,5–3,0 s. Purkautumisaikavälille saadut arvot olivat 1,9–2,4 s. Kiertävän liikenteen minimiaikavälin arvolle saatiin estimaatti kahdella eri tavalla. Toisella tavalla arvoksi jouduttiin asettamaan 1,8 s, sillä mittaushavainnot eivät sopineet M3-jakaumaan riittävän hyvin. Toisella tavalla arvoksi optimoitiin numeerisesti 1,5–1,8 s.

Mittaushavainnoista tehtyjen tarkastelujen perusteella suomalaista laskentamenetelmää käytettäessä kriittiselle aikavälille suositellaan arvoa 3,3 s yksikaistaisille kiertoliittymille. Osittain kaksikaistaisille kiertoliittymille suositellaan arvoa 3,4–3,5 s ulommalle kiertävälle kaistalle ja silloin, kun kiertäviä kaistoja on yksi. Sisemmälle kiertävälle kaistalle suositellaan arvoa 3,2–3,3 s. Tulosten perusteella purkautumisaikaväli voidaan laskea suomalaisessa menetelmässä olevalla kaavalla molemmille tutkituille kiertoliittymätyypeille. Kiertävän liikenteen minimiaikavälille voidaan myös laskea arvo käyttämällä suomalaisen menetelmän yhtälöä. Osittain kaksikaistaisissa kierto-liittymissä lasketusta arvosta voidaan vähentää 0,2 s.

Nyt tutkitut osittain kaksikaistaiset kiertoliittymät olivat toimivuudeltaan hyviä ja luonnollisesti välityskyvyltään parempia kuin yksikaistaiset kiertoliittymät.

---

**Avainsanat** Kaksikaistaiset kiertoliittymät, välityskyky, kriittinen aikaväli, seuranta-aikaväli, purkautumisaikaväli, analyttiset menetelmät, kiertävä minimiaikaväli

---

<b>Author</b> Mika Ridanpää		
<b>Title of thesis</b> Roundabout capacity		
<b>Degree programme</b> Transportation and Environmental Engineering		
<b>Major/minor</b> Transportation and highway engineering		<b>Code</b> R3004
<b>Thesis supervisor</b> Professor Tapio Luttinen		
<b>Thesis advisor(s)</b> DI Åsa Enberg ja DI Virpi Ojala		
<b>Date</b> 2.5.2016	<b>Number of pages</b> 145 + 35	<b>Language</b> Finnish

## Abstract

This research studied the capacity of roundabouts by using measured data and Finnish, Dutch, Danish, American and German capacity calculation methods. The parameters used in these methods were also estimated from the measured data. These parameters are critical gap, follow-up time and the minimum headway of the circulating traffic. Data were measured from five roundabouts. Three of which are partly two-lane and two of which are one-lane roundabouts.

The field measurements were done by video recording. The video material was filmed in September and October in 2014 and 2015. From the morning rush 1–2,5 hours of material was used and from the evening rush 1–3,5 hours was used from every leg of every roundabout studied.

The data that were usable in capacity comparison were successfully collected from three of the studied roundabouts. This data were compared with the estimations provided by the calculation methods. The Danish calculation method was overestimating the capacity while the other studied methods underestimated the capacity.

Estimate for the critical gap was calculated by using maximum likelihood and Raff's methods. Results were 2,5–3,0 s. The follow-up time was 1,9–2,4 s. The minimum headway of the circulating traffic was chosen (in M3-distribution method) to 1,8 s because the gathered data weren't steady enough. By using simultaneous numerical estimation results were 1,5–1,8 s.

The calculations made from the gathered data showed that if the Finnish method is used, 3,3 s is suitable value for critical gap in one-lane roundabouts. For the partly two-lane roundabouts 3,4–3,5 s can be used for one (only) circulating lane and outer circulating lane. For the inner circulating lane 3,2–3,3 s can be used. The follow-up time can be calculated by using the equation in the Finnish method and this can be done to both studied roundabout types. The minimum headway of the circulating traffic can be calculated by the Finnish method, but in partly-two lane roundabouts result can be decreased by 0,2 seconds.

In this study the partly two-lane roundabouts were good in the term of functionality and obviously their capacity was better than the capacity of one-lane roundabouts.

**Keywords** Two-lane roundabout, critical gap, capacity, analytical calculation methods, follow-up time, minimum headway

## Alkusanat

Tämä työ on tehty Aalto-yliopiston yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitoksella. Liikennevirasto on rahoittanut tutkimusta. Tutkimus on suoritettu Mika Ridanpään diplomityönä, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Haluan kiittää suuresti avusta työni valvojaa Tapiota ja työni ohjaajia Åsaa ja Virpiä. Lisäksi suuret kiitokset kuuluvat Aapo Lumikoivulle ja Kari Hintikalle datan hankkimisessa ja muussakin auttamisessa. Kiitokset myös Heli Nikiforowille ja Pinja Niittymäelle avusta poistuvan liikenteen kaistajakauman selvittämisessä. Kiitos oikoluvusta, Sakke!

Kiitos, äiti ja isä, koko TKK-urani ajan kestäneestä tuesta! Sukulaiset, ystävät ja tuttavat: kiitos! Iso kiitos myös opiskelutovereilleni, jotka ovat osaltaan auttaneet tahkoamaan tämän urakan loppuun! Suurin kiitos kuuluu kuitenkin rakkaalle perheelleni, Olivialle ja Sirille! Kiitos kaikesta tuesta opiskelujen ja varsinkin diplomityön aikana!

Espoo 2.5.2016

Mika Ridanpää

# Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>TAUSTAA JA TEORIAA</b>	<b>9</b>
2.1	Kiertoliittymätyypit	9
2.2	Kriittinen aikaväli	10
2.2.1	Estimoinnin haasteet	10
2.2.2	Suurimman uskottavuuden menetelmä	10
2.2.3	Raffin menetelmä	12
2.3	Purkautumisaikaväli	13
2.4	Kiertävän liikenteen minimiaikaväli	13
2.5	Välityskyky ja laskentamenetelmät	17
2.5.1	Suomalainen menetelmä	17
2.5.2	Hollantilainen menetelmä	18
2.5.3	Tanskalainen menetelmä	19
2.5.4	Yhdysvaltalainen menetelmä	19
2.5.5	Saksalainen menetelmä	20
<b>3</b>	<b>TUTKIMUSKOhteET JA -MENETELMÄT</b>	<b>24</b>
3.1	Tutkimuskohteet	24
3.1.1	Kohteiden valinta	24
3.1.2	Hyrylä eteläinen	24
3.1.3	Kirkkonummi	26
3.1.4	Suutarila	28
3.1.5	Matinkylä	29
3.1.6	Hyrylä pohjoinen	32
3.2	Tutkimusmenetelmät	33
3.2.1	Videomateriaalin kuvaus	33
3.2.2	Videomateriaalin purku	35
3.2.3	Datan käsittely	37
3.2.4	Ongelmat	38
<b>4</b>	<b>TULOKSET</b>	<b>39</b>
4.1	Liikennemäärät	39
4.1.1	Liikennemäärien laskeminen ja esitys	39
4.1.2	Hyrylä eteläinen	39
4.1.3	Kirkkonummi	48
4.1.4	Suutarila	57
4.1.5	Matinkylä	66
4.1.6	Hyrylä pohjoinen	74
4.2	Välityskyky	82
4.2.1	Välityskyvyn määrittämisen periaatteet	82
4.2.2	Hyrylä eteläinen	84
4.2.3	Kirkkonummi	86

4.2.4	Suutarila	88
4.2.5	Matinkylä	90
4.2.6	Hyrylä pohjoinen	92
4.3	Kaistajakauma	94
4.4	Kriittinen aikaväli	95
4.5	Purkautumisaikaväli	99
4.6	Kiertävän liikenteen minimiaikaväli	100
4.7	Muita huomioita	105
<b>5</b>	<b>ANALYYTTISTEN MENETELMIEN JA KIERTOLIITTYMÄTYYPPIEN VERTAILU</b>	<b>107</b>
5.1	Vertailun lähtötiedot ja oletukset	107
5.2	Hyrylä eteläinen	107
5.3	Kirkkonummi	111
5.4	Suutarila	113
5.5	Matinkylä	116
5.6	Hyrylä pohjoinen	120
5.7	Mitatun liikennemäärän ja eri menetelmillä lasketun välityskyvyn vertailu	123
5.8	Kiertoliittymätyyppien vertailu	125
5.9	Suomalainen menetelmä mitatuilla parametreilla	126
<b>6</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>135</b>
6.1	Välityskyky	135
6.2	Aikavälit	136
6.3	Liittymien toimivuus	137
6.4	Virhelähteet	138
6.5	Pohdintaa	139
<b>7</b>	<b>YHTEENVETO</b>	<b>141</b>
	<b>LÄHDELUETTELO</b>	<b>143</b>
	<b>LIITELUETTELO</b>	<b>145</b>

# Termit, käsitteet, merkinnät ja lyhenteet

## Aikaväli

Kahden peräkkäisen liikenneyksikön vastinpisteiden (tässä tutkimuksessa ajoneuvon etumainen piste) välinen aikaero näiden ohittaessa mittauspisteen. (Luttinen et al. 2005.)

## Alkuaikaväli

Tarkasteluhetkellä aikavälistä jäljellä oleva aika, eli aika seuraavan liikenneyksikön saapumiseen. (Luttinen et al. 2005.)

## Kiertävän liikenteen minimiaikaväli

Kiertävän liikenteen aikavälijakauman minimiarvo. (Luttinen et al. 2005.)

## Kriittinen aikaväli

Keskimääräinen pienin etuajo-oikeutetun virran aikaväli, jonka väistämisvelvollinen liikeneyksikkö voi käyttää risteämiseen tai liittymiseen. (Luttinen et al. 2005.)

## Purkautumisaikaväli

Seuranta-aikaväli pysäytys- tai väistämisviivalla ajoneuvojonon purkautuessa valo-ohjauksisessa liittymässä vihreän opastinkuvan aikana tai valo-ohjauksettomassa liittymässä päävirran yhden aikavälin aikana. (Luttinen et al. 2005.)

## Seuranta-aikaväli

Aikaväli, jolla ajoneuvo seuraa edellä kulkevaa ajoneuvoa tavoitenopeuttaan hitaammalla nopeudella. (Luttinen et al. 2005.)

## Välityskyky

Suurin liikennemäärä, joka vallitsevissa olosuhteissa voi ohittaa tietyn tienkohdan aikayksikössä. (Luttinen et al. 2005.)

## Lyhenteet ja termit

$t_c$	[s]	Kriittinen aikaväli
$t_f$	[s]	Purkautumisaikaväli
$t_p$	[s]	Kiertävän liikenteen minimiaikaväli

Ajon/h	Ajoneuvoa / tunti
Hay/h	Henkilöautoyksikköä / tunti
HBS	Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen
HCM	Highway Capacity Manual

# 1 Johdanto

Tämä työ käsittelee kiertoliittymiä eli liikenneympyröitä ja niiden välityskykyä. Vaikka kiertoliittymiä on tutkittu melko kattavasti viime vuosina, on niiden välityskyvyn arvioinnissa edelleen tiettyjä haasteita. Luttisen (2004) tutkimuksessa käsiteltiin tasoliittymien välityskykyä kattavasti ja jatkotutkimusta ehdotettiin muun muassa kaksikaistaisen kiertoliittymien kaistajakaumista. Tuovinen ja Enberg (2009) tutkivat kiertoliittymien välityskykyä ja totesivat tarvetta olevan jatkotutkimukselle. Ramboll Finland teki syksyllä 2012 ja alkuvuonna 2013 Liikennevirastolle kaksi selvitystä, joista toisessa laadittiin pikaohje liikenteen välityskyky- ja toimivuustarkastelujen tekemistä ja tilaamista varten ja toisessa arvioitiin nykyisten väyläratkaisujen välityskykytietojen ajantasaisuutta sekä esitettiin Suomen välityskykytarkastelujen kehittämisen kannalta keskeisimmät tutkimus- ja kenttämittaustarpeet tärkeysjärjestyksessä (Lehtonen et al. 2012, Liikennevirasto 2013). Kenttätutkimuskohteista yhdeksi kiireellisimmistä todettiin kiertoliittymät ja erityisesti kaksikaistaiset ja osittain kaksikaistaiset kiertoliittymät (Lehtonen et al. 2012).

Tämän työn päätavoitteena oli kenttätutkimusten ja teoreettisten laskentamenetelmien avulla tutkia suomalaisten kiertoliittymien välityskykyä sekä muita keskeisiä toimivuuteen liittyviä ominaisuuksia.

Toimivuustarkasteluissa työkaluina käytetään yleensä joko liikenteen simulointiohjelmistoja tai analyttisiä menetelmiä. Aikaisemmissa selvityksissä on todettu, että ulkomaiset simulointiohjelmistot eivät välttämättä sellaisenaan sovellu suomalaisiin liikenneolosuhteisiin. Kenttämittausten toisena päätavoitteena oli tuottaa parametriarvoja ja toimivuutta kuvaavia tunnuslukuja yleisimmin käytössä oleville simulointiohjelmistoille (lähinnä VISSIM ja Paramics) ja analyttisille laskentamenetelmille.

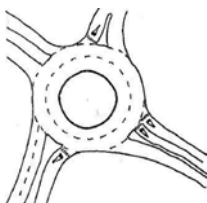
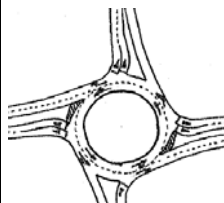
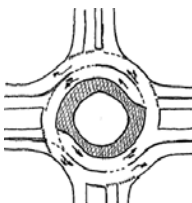
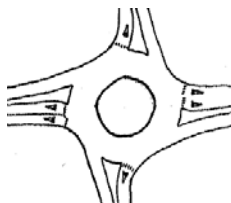
Tutkimus on rajattu yksikaistaisiin ja osittain kaksikaistaisiin kiertoliittymiin. Tutkimukseen valittiin viisi mahdollisimman vilkasliikenteistä kiertoliittymää, joista kaksi oli yksikaistaisia ja kolme osittain kaksikaistaisia. Välityskyvyn laskentamenetelmissä ja simulointiohjelmistoissa tarvittavien parametrien osalta pyrittiin selvittämään arvoja molempiin edellä mainittuihin liittymätyyppeihin. Kaikista tutkituista kiertoliittymistä selvitettiin myös liikennemäärät ja ajoneuvoluokkajakaumat. Osittain kaksikaistaisista kiertoliittymistä tutkittiin myös kiertävän, saapuvan ja poistuvan liikenteen kaistankäyttöjakaumaa.



## 2 Taustaa ja teoriaa

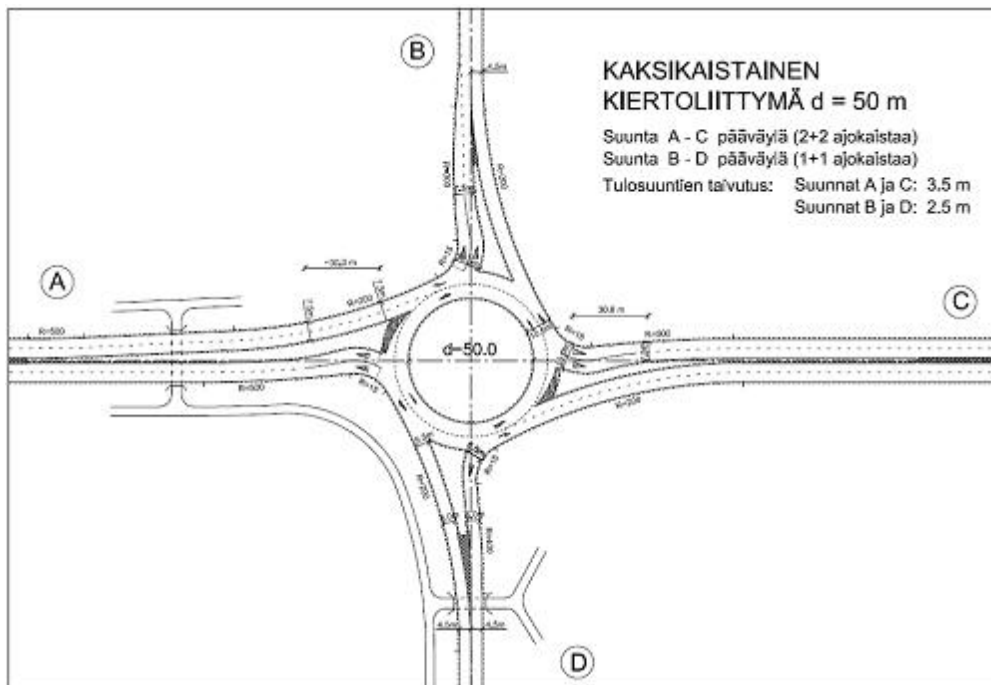
### 2.1 Kiertoliittymätyypit

Osittain kaksikaistainen kiertoliittymä on turbo-kiertoliittymän ja kaksikaistaisen kiertoliittymän välimuoto. Kuvassa 1 on esitetty erilaisia kaksikaistaisia kiertoliittymiä.

Kokonaan kaksikaistainen kiertoliittymä	Osittain kaksikaistainen kiertoliittymä tiemerkinnoin	Turbo-kiertoliittymä	Kaksikaistainen kiertoliittymä ilman tiemerkinntöjä
			

Kuva 1 Kaksikaistaiset kiertoliittymätyypit (Kuva: Aarnikko et al. 2006).

Osittain kaksikaistaisen kiertoliittymän kiertotilassa on kaistamerkinnot ja kiertävä ulko-kaista on paikoin suljettu. Tämä liittymätyyppi poikkeaa turbo-kiertoliittymästä siten, että kiertävän liikenteen ajoneuvot voivat vaihtaa kaistaa kiertotilassa. Kahden poistuvan kaistan jälkeen kiertotilassa jatkuu vain yksi kiertävä kaista. Kaista voidaan sulkea joko rakenteellisesti tai tiemerkinnoin. (Aarnikko et al. 2006.) Kuvassa 2 on periaatekuva kyseisestä liittymämerkittämisestä.



Kuva 2 Osittain kaksikaistainen kiertoliittymä tiemerkinnoin (Tiehallinto 2001).

Osittain kaksikaistaisessa kiertoliittymässä voidaan suuret kiertävät liikennemäärät hajauttaa kahdelle kaistalle, joten liittymätyyppi soveltuu erityisesti kohteisiin, joissa on selvästi suurimmat liikennemäärät yhdellä tai kahdella tulosuunnalla samaan aikaan.

## 2.2 Kriittinen aikaväli

### 2.2.1 Estimoinnin haasteet

Kiertoliittymään saapuva ajoneuvo tarvitsee liittyäkseen riittävän pitkän aikavälin kiertävässä liikennevirrassa. ”Riittävän pitkä” aikaväli vaihtelee kuljettajakohtaisesti. Välityskykylaskelmissa kriittinen aikaväli ( $t_c$ ) on siis lyhyin keskimääräinen päävirran aikaväli tai alkuaikaväli, jonka väistämismuuttaminen ajoneuvo voi käyttää liittymiseen. Alkuaikaväli on tarkasteluhetkellä aikavälistä jäljellä oleva osa, eli aika seuraavan ajoneuvon saapumiseen. (Luttinen et al. 2005.)

Koska kriittisen aikavälin pituus riippuu kuljettajasta, ajoneuvon ominaisuuksista, liikenteen ohjauksesta, ajonopeuksista ja väistettävien liikennevirtojen lukumäärästä, on jokaiselle sivuvirralla estimoitava kriittinen aikaväli erikseen.

Kuljettajien oletetaan olevan johdonmukaisia, kun arvioidaan kriittistä aikaväliä. Näin ei kuitenkaan käytännössä aina ole. Kuljettaja, joka on odottanut kauan sopivaa aikaväliä liikennevirtaan liittymiseen, voi hyväksyä aikavälin, joka on lyhyempi kuin aiemmin hylkäämänsä aikaväli. Näin ollen vilkkaissa liittymissä saatetaan saada erisuuruisia estimaatteja kriittiselle aikavälille kuin liittymissä, joissa on vähän liikennettä.

Kriittisen aikavälin estimointimenetelmistä suurimman uskottavuuden (maximum likelihood) menetelmä on yleisesti käytetty menetelmä tilastotieteessä ja myös luotettavaksi todettu. Raffin menetelmä on esitelty jo vuonna 1950, mutta menetelmän yksinkertaisuus on kestänyt aikaa ja sillä saadaan helposti hyviä estimaatteja. (Luttinen et al. 2005.)

### 2.2.2 Suurimman uskottavuuden menetelmä

Maximum likelihood eli suurimman uskottavuuden menetelmä on parametrien estimointiin yleisimmin käytetty menetelmä tilastotieteessä. Menetelmän tarkoituksena on etsiä ne parametrien arvot, joilla mallin uskottavuus (likelihood) on suurin. Kriittisen aikavälin tapauksessa tarkastellaan pienimmän käyttökelpoisen aikavälin jakaumaa. Tämän jakauman odotusarvo on kriittisen aikavälin estimaatti. (Luttinen et al. 2005, s. 244.)

Kuljettajien oletetaan olevan heterogeenisiä, mutta johdonmukaisia. Eli kullekin kuljettajalle ( $i$ ) lyhin käyttökelpoinen aikaväli ( $u_i$ ) on erisuuri, mutta kuljettaja  $i$  hyväksyy kaikki aikavälit  $t \geq u_i$  ja hylkää kaikki aikavälit  $t < u_i$ . Lyhintä käyttökelpoista aikaväliä merkitään satunnaismuuttujalla  $U$ , jonka yksittäinen arvo  $u_i$  on.  $U$ :n oletetaan olevan lognormaalijakautunut. Log-normaalijakauma on oikealle vino jakauma, jonka tuottamat arvot ovat ainoastaan positiivisia, joten  $\ln U$  on normaalijakautunut. Olkoon jakauman kertymäfunktio  $F(u)$  sekä odotusarvo  $\mu$  ja varianssi  $\sigma^2$ , jotka ovat tuntemattomia parametreja. (Luttinen et al. 2005.)

Maastotutkimuksin mitataan kiertoliittymään saapuvien kuljettajien hylkäämät ja hyväksymät aikavälit. Olkoon  $y_i$  kuljettajan  $i$  hyväksymän aikavälin logaritmi ja  $x_i$  saman kuljettajan suurimman hylätyn aikavälin logaritmi. Jos kuljettaja ei joutunut väistämään yhtään ajoneuvoa eli ei hylännyt yhtään aikaväliä,  $x_i = 0$ . Myös alkuaikavälit huomioidaan. Tällöin todennäköisyys, että  $\ln U$  on välillä  $(x_i, y_i]$  on

$$\mathbb{P}\{x_i < \ln U \leq y_i\} = F(y_i) - F(x_i). \quad (1)$$

Kun havaittuja kuljettajia on  $n$  kappaletta, uskottavuusfunktio on

$$L = \prod_{i=1}^n [F(y_i) - F(x_i)]. \quad (2)$$

Uskottavuusfunktion logaritmi on

$$\ln L = \sum_{i=1}^n \ln [F(y_i) - F(x_i)]. \quad (3)$$

Malli, jolla  $\ln L$  saavuttaa maksimin, on suurin uskottavuus. Jakauman parametrit, jotka maksimoivat  $\ln L$ :n, tulee ratkaista. Tällöin maksimoituu myös  $L$ . Ratkaisu toteuttaa yhtälöparin

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln L}{\partial \mu} &= \sum_{i=1}^n \frac{\frac{\partial F(y_i)}{\partial \mu} - \frac{\partial F(x_i)}{\partial \mu}}{F(y_i) - F(x_i)} = 0 \\ \frac{\partial \ln L}{\partial \sigma^2} &= \sum_{i=1}^n \frac{\frac{\partial F(y_i)}{\partial \sigma^2} - \frac{\partial F(x_i)}{\partial \sigma^2}}{F(y_i) - F(x_i)} = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Voidaan osoittaa, että

$$\begin{aligned} \frac{\partial F(x)}{\partial \mu} &= -f(x) \\ \frac{\partial F(x)}{\partial \sigma^2} &= \frac{x - \mu}{2\sigma^2} f(x). \end{aligned} \quad (5)$$

Lausekkeissa  $f(x)$  on normaalijakauman tiheysfunktio. Ratkaistavaksi yhtälöpariksi saadaan:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \frac{f(x_i) - f(y_i)}{F(y_i) - F(x_i)} &= 0 \\ \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \mu)f(x_i) - (y_i - \mu)f(y_i)}{F(y_i) - F(x_i)} &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Tiheysfunktiot  $f(\cdot)$  ja kertymäfunktio  $F(\cdot)$  ovat parametrien  $\mu$  ja  $\sigma^2$  funktioita. Yhtälöparin ratkaisemiseen käytetään numeerisia menetelmiä.

Suurimman uskottavuuden omaavan  $U$ :n jakauman odotusarvo on kriittinen aikaväli. Jos  $\ln U$  on normaalijakautunut odotusarvona  $\mu$  ja varianssina  $\sigma^2$ , niin  $U$ :n odotusarvo on

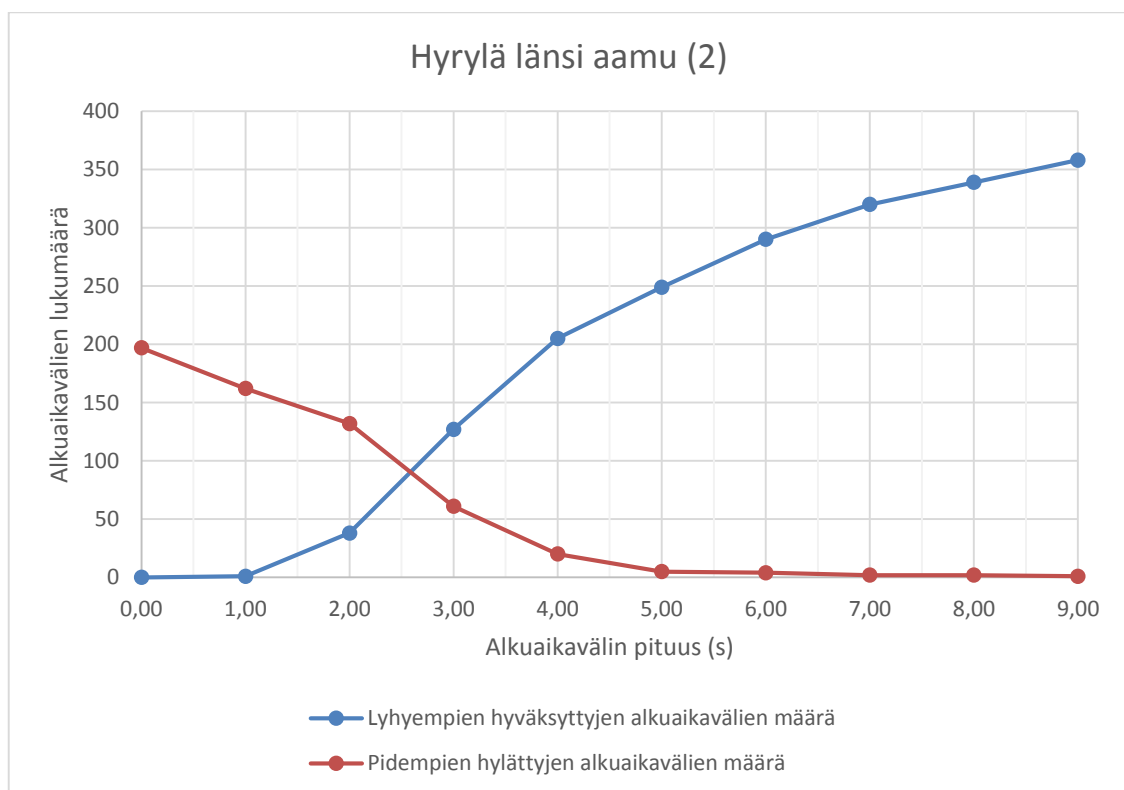
$$t_c = \mathbb{E}[U] = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2}. \quad (7)$$

Kriittiselle aikavälille on saatu hyviä estimaatteja suurimman uskottavuuden menetelmällä. Otokseen kasvaessa tulokset tarkentuvat. (Luttinen et al. 2005.)

### 2.2.3 Raffin menetelmä

Raffin menetelmä on yksi yleisimmin käytetyistä menetelmistä kriittisen aikavälin estimoimiseen. Menetelmän mukaan kriittinen aikaväli on se alkuaikaväli, jota pidempien hylättyjen alkuaikavälien määrä on yhtä suuri kuin sitä lyhyempien hyväksytyjen alkuaikavälien määrä. (Luttinen et al. 2005, s. 242.) Kuvassa 3 on esitetty periaate, miten kriittinen aikaväli määritetään Raffin menetelmällä. Tässä tapauksessa kriittisen aikavälin estimaatti on 2,6 sekuntia, eli vaaka-akselilta saatava arvo kahden käyrän leikkauspisteessä. Käyrät muodostuvat tietyn pituisten aikavälien lukumääristä.

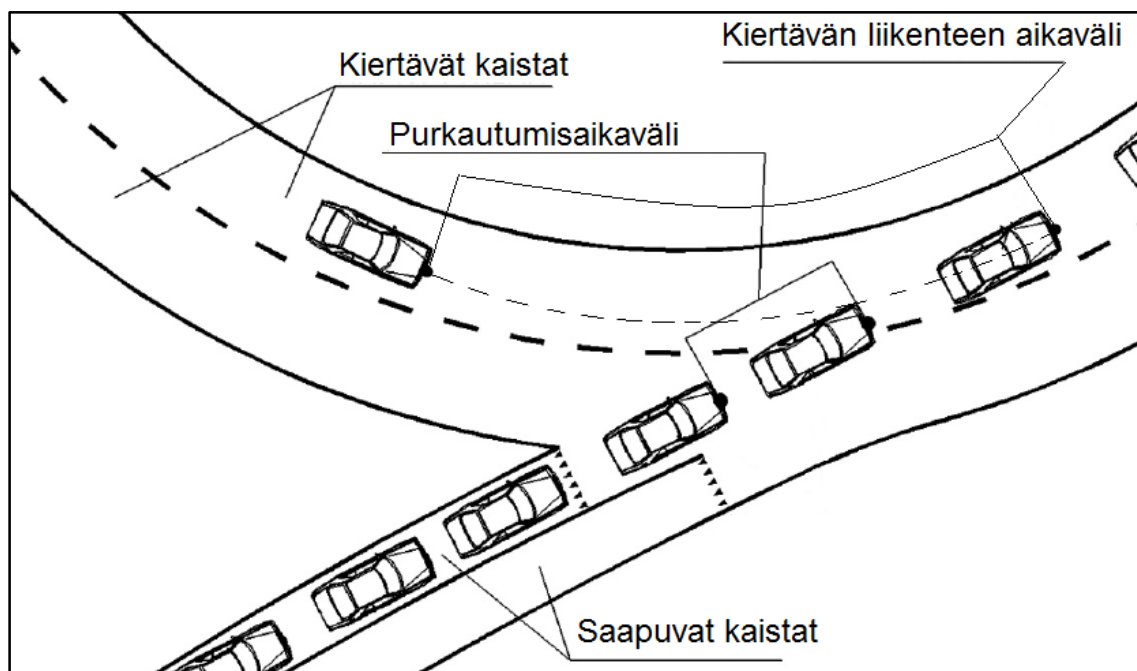
Raffin menetelmä on yksinkertainen ja helppokäyttöinen, mutta siinä on joitain ongelmia. Jos kiertävää liikennettä on vähän, lyhyitä hyväksytyjä alkuaikavälejä syntyy vähän, kuten myös hylättyjä alkuaikavälejä. Jos kiertävää liikennettä on paljon, yhä harvempi sivuvirran ajoneuvo voi hyväksyä alkuaikavälin. (Luttinen et al. 2005, s. 242–243.)



Kuva 3 Raffin menetelmän periaatekuva. Tässä noin 90 kuljettajaa on hyväksynyt lyhyemmän ja hylännyt pidemmän aikavälin kuin 2,6 sekuntia, joka on estimaatti kriittiselle aikavälille Raffin menetelmällä.

## 2.3 Purkautumisaikaväli

Purkautumisaikaväli (tai seuranta-aikaväli)  $t_f$  on kahden kiertotilaan samaan kiertävän liikenteen aikaväliin peräkkäin saapuvan ajoneuvon välinen aika konfliktialueen rajalla (ensimmäisen ajoneuvon keulasta toisen ajoneuvon keulaan). Tavoite on löytää ajoneuvoja, joiden liikkumista edellä ajava ajoneuvo selvästi rajoittaa. Kuvassa 4 on havainnollistettu purkautumisaikaväliä.



Kuva 4 Purkautumisaikaväli ja kiertävän liikenteen seuranta-aikaväli (kuvaa muutettu, alkuperäinen kuva: Irvenä ja Randahl 2010).

Suomalaisessa menetelmässä yksikaistaisille kiertoliittymille purkautumisaikaväli lasketaan kaavalla 3, jolla laskettuna arvo vaihtelee välillä 2,2 ja 2,5 sekuntia. Kaksikaistaisille liittymille on arvioitu arvo 2,4 sekuntia (taulukko 1).

Tässä tutkimuksessa päädyttiin määrittämään purkautumisaikaväli siten, että aikavälitarkasteluun valittiin ajoneuvot, jotka tulivat odotusalueelle alle 0,5 sekunnin kuluessa siitä ajanhetkestä, kun edellä ajava ajoneuvo merkittiin saapuneeksi eli liittyi kiertotilaan. Videota purettaessa asiaan kiinnitettiin huomiota, ja peräkkäin ajaneet ajoneuvot merkittiin riittävän nopeasti eli siten, että ne päätyivät tarkasteluun.

Raskaiden ajoneuvojen perässä saapuvat ajoneuvot jätettiin pois sellaisesta purkautumisaikavälitarkastelusta, jolla pyrittiin estimoimaan arvo parametrille, mutta näitäkin tapauksia tutkittiin. Kevyen ajoneuvon jälkeen saapuva raskas ajoneuvo otettiin tarkastelussa huomioon samalla tavalla kuin kevyt ajoneuvo.

## 2.4 Kiertävän liikenteen minimiaikaväli

Kiertävän liikenteen minimiaikaväli ( $t_p$ ) on kiertävän liikenteen aikavälijakauman minimiarvo (Luttinen et al. 2005, s.262.) Kuvassa 4 on esitetty, mikä on kiertävän liikenteen aikaväli. Käytännössä kiertävän liikenteen aikavälien kertymäfunktioon sovitetaan jokin

teoreettinen jakauma, josta saadaan estimaatti minimiaikavälille. Kertymäfunktio saa positiivisia arvoja alkaen minimiaikavälistä.

Kiertoliittymien kiertävän liikenteen aikavälien mallintamisessa on käytetty muun muassa Cowanin M3-jakaumaa. Menetelmän etuna ja haittana on, ettei sillä voida mallintaa luotettavasti lyhyitä aikavälejä. Jakauman kertymäfunktio on:

$$F(t) = \begin{cases} 0, & t < t_p \\ 1 - \phi e^{-\theta(t-t_p)}, & t \geq t_p. \end{cases} \quad (8)$$

Lausekkeessa  $\phi$  on vapaiden ajoneuvojen osuus liikennevirrassa, joten jonossa ajavien osuus on vastaavasti  $1 - \phi$ . Parametrille  $\theta$  on eri laskentamenetelmiä, joissa kaikissa se kuitenkin määräytyy liikennemäärän perusteella. Cowanin M3-jakauman odotusarvo ja varianssi ovat

$$\mathbb{E}[T] = t_p + \frac{\phi}{\theta}, \quad (9)$$

$$\text{var } T = \frac{\phi(2 - \phi)}{\theta^2}. \quad (10)$$

Vakio  $t_p$  ei vaikuta varianssiin. (Luttinen et al. 2005.)

Yhtälössä 8  $\theta$  tarvitsee estimaatin. Sekä Luttinen (1999) että Troutbeck (1997) ovat todenneet suurimman uskottavuuden estimaattorin olevan pätevä arvio  $\theta$ :lle, joka saadaan yhtälöstä (tässä  $t_p = \hat{t}$  ja  $\theta = \lambda$ ):

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\bar{t}_{\hat{t}} - \hat{t}} \quad (11)$$

jossa  $\bar{t}_{\hat{t}}$  on keskiarvo kiertävän liikenteen aikaväleille, jotka ovat suurempia kuin  $\hat{t}$ . M3-jakauma ei ole kuitenkaan realistinen lyhyille aikaväleille (Luttinen 1999). Menetelmää käytettiin tässä työssä, koska sillä saatiin  $\lambda$ :lle selvä riippuvuus liikennemääristä, kuten kuulukaan.

Otetaan käyttöön toinen funktio, jossa  $\tau$ :n tilalle otetaan  $\xi$ , joka on eksponentiaalisen hännän alaraja. Alarajana voidaan käyttää arvoja 3,5:n ja 4:n sekunnin välillä (Luttinen 1999). Troutbeck (1997) kirjoittaa, että noin alle kahden sekunnin aikavälit ovat todennäköisesti niputettuja (jonossa ajavia) ajoneuvoja ja yli neljän sekunnin aikavälit ovat todennäköisesti vapaita ajoneuvoja. Tässä tutkimuksessa  $\xi$ :n arvoksi asetettiin 4 sekuntia kaikissa muissa liittymissä ja haaroissa, paitsi Hyrylän osittain kaksikaistaisen kiertoliittymän itäisen haaran iltaruuhkassa, missä arvoksi asetettiin 2,5 sekuntia. Tämän arvo valittiin kokeilemalla, koska 4 sekuntia ei antanut hyvin sopivaa jakaumaa. Tämä johtuu liittymän vilkkaudesta. Kun  $\xi$  on määriteltä, voidaan yhtälö 8 kirjoittaa seuraavasti:

$$F(t) = 1 - \beta e^{-\lambda(t-\xi)} = 1 - \gamma e^{\lambda t}, \quad (t > \xi) \quad (12)$$

missä

$$\gamma = \beta e^{-\lambda \xi}, \quad (13)$$

ja  $\beta$  on  $\xi$ :tä pidempien aikavälien osuus (Luttinen 1999). Estimaattori  $\gamma$ :lle löydetään minimoimalla neliösumma teoreettisen kertymäfunktion (kaava 12) ja empiirisen kertymäfunktion  $F_n(t)$  välillä. Neliösumman minimi saadaan, kun käytetään yhtälöä:

$$\hat{\gamma} = \frac{\sum_{i=1}^{n_\xi} [1 - F_n(t_i)] e^{-\lambda t_i}}{\sum_{i=1}^{n_\xi} e^{-2\lambda t_i}}, \quad (t_i > \xi) \quad (14)$$

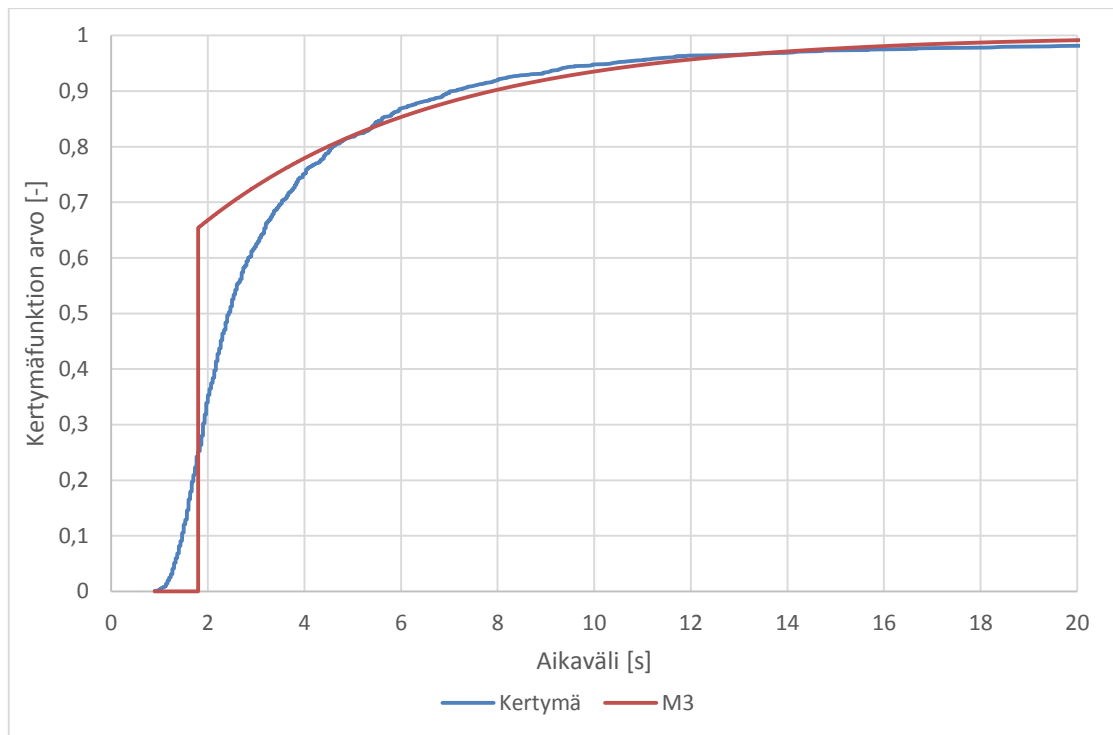
missä  $n$  on otoksen koko ja  $n_\xi$  on  $\xi$ :tä suurempien aikavälien määrä. Estimaattorit  $\phi$ :lle ja  $\tau$ :lle määritetään siten, että arvioitu jakauma pitkille aikaväleille ei muutu, ja jakaumasta laskettu liikennemäärä on sama kuin mittaushavainnoista saadussa otoksessa. Estimaattori vapaiden ajoneuvojen osuudelle eli  $\phi$ :lle saadaan yhtälöstä 13, muuttamalla  $\beta \rightarrow \hat{\phi}$  ja  $\hat{t} \rightarrow \xi$  ja ratkaistaan  $\hat{t}$  yhtälöstä 9, jossa  $t_p = \hat{t}$ . Näin saadaan estimaattorit  $\phi$ :lle ja  $\tau$ :lle:

$$\hat{\phi} e^{-\hat{\phi}} = \hat{\gamma} e^{\hat{\lambda}/q} \quad (15)$$

$$\hat{t} = \frac{\ln(\frac{\hat{\gamma}}{\hat{\phi}})}{\hat{\lambda}} \quad (16)$$

Yhtälöstä 15  $\hat{\phi}$  voidaan ratkaista numeerisesti. Estimaatti minimiaikavälille  $t_p$  on siis  $\hat{t}$ . (Luttinen 1999.)

Mittaushavainnoista tehtiin liittymäkohtaisesti kiertävän liikenteen aikavälien kertymäfunktio, johon M3-jakauma sovitettiin. Tuloksena saatiin  $t_p$  eli kiertävän liikenteen minimiaikaväli. Kuvassa 5 on esitetty, miten M3-jakauman kertymäfunktio sopii Hyrylän mittaushavaintoihin. Koska  $t_p$  on 1,8 sekuntia, sitä pienemmillä arvoilla M3-jakauman kertymäfunktio saa arvon 0.



Kuva 5 M3-jakauman sovitus empiiriseen kertymäfunktioon.

Tavoitteena oli löytää pienimmät aikavälijakaumien minimiarvot joka liittymälle, joten kaikkia mittaushavaintoja ei kannattanut hyödyntää, vaan pyrittiin löytämään vilkkaimmat ja vakaimmat liikennevirrat. Esimerkiksi liikennevalojen läheisyys tuotti ei-toivottuja tuloksia. Hagring (1998, s. 62) mainitsee julkaisussaan, että mitatuissa havainnoissa ei saisi olla hetkellisiä muutoksia, joten mittaukset tulisi tehdä vakaisissa olosuhteissa ja aikavälien tulisi olla arkipäiväisiä ja uusiutuvia.

Tulosten epästaattisuuden vuoksi päädyttiin käyttämään minimiarvoa 1,8 sekuntia kaikille liittymille. Vilkkaimmista haaroista tämä tulos tuli tavanomaisesti ratkaisemalla  $\tau$ , mutta vähempiliikenteisissä haaroissa jouduttiin  $\phi$  estimoimaan pakottamalla minimiaikaväliksi 1,8 sekuntia. Tämä on myös aiempien suomalaisten ja ruotsalaisten tutkimusten perusteella sopiva arvo (Luttinen et al. 2005, s. 172).

Minimiaikavälin estimointiin kokeiltiin käyttää myös toista menetelmää, joka teoriassa on hyvin yksinkertainen. Menetelmässä estimoidaan kaikki edellä mainitut M3-jakauman parametrit siten, että teoreettisen ja empiirisen kertymäfunktion välinen ero minimoituu. Menetelmää käytti muun muassa Vasconcelos työryhmineen (2012), saaden tasaisen varmoja tuloksia. Vasconcelosin ryhmä minimoi residuaalien varianssia 4 sekunnista alkaen, mutta tässä työssä minimoitiin virhe alkaen pienimmästä mitatusta arvosta (yleensä noin 1 s) päättyen suurimpaan mitattuun arvoon. Teorian käytäntöä avataan tulokset-osiossa lisää.



## 2.5 Välityskyky ja laskentamenetelmät

### 2.5.1 Suomalainen menetelmä

Välityskyvyn laskentamenetelmässä kiertoliittymän kiertävä liikenne on päävirta ja saapuva liikenne sivuvirta. Yksikaistaisen kiertoliittymän perusvälityskyky  $C_p$  (hay/h = henkilöautoyksikköä / tunti) tulosuunnalle lasketaan kaavalla 17. (Luttinen et al. 2005.) Suomalainen menetelmä perustuu ruotsalaiseen Hagringin kehittämään laskentamenetelmään (Tuovinen, Enberg 2009).

$$C_p = \frac{qe^{-\theta(t_c-t_p)}}{1 - e^{-\theta t_f}}, \quad (17)$$

jossa  $t_c$  on kriittinen aikaväli (taulukko 1),  $t_p$  kiertävän liikenteen aikavälijakauman minimiarvo,  $t_f$  purkautumisaikaväli,  $q$  kiertävä liikennemäärä (ajon/h) ja

$$\theta = \frac{q}{3600 - qt_p}. \quad (18)$$

Purkautumisaikaväli  $t_f$  (kaava 19) ja kiertävän liikenteen minimiaikaväli  $t_p$  (kaava 20) lasketaan yksikaistaisille kiertoliittymille kierto- eli keskisaarekkeen halkaisijan  $d$  funktiona, kun halkaisija on 8–40 metriä. (Luttinen et al. 2005.)

$$t_f = 2,5 - 0,0067(d - 8) \quad (19)$$

$$t_p = 2,0 - 0,0067(d - 8) \quad (20)$$

*Taulukko 1 Kriittisen aikavälin ja purkautumisaikavälin oletusarvot suomalaisessa laskentamenetelmässä (Luttinen et al. 2005).*

Saapumis- kaista	Yksikaistainen kiertoliittymä		Kaksikaistainen kiertoliittymä		
	Kriittinen aikaväli (s)	Purkautumisaikaväli (s)	Kriittinen aikaväli (s)		Purkautumisaikaväli (s)
			Ulkokaista	Sisäkaista	
Oikea	4,3	2,3–2,5	4,3	4,0	2,4
Vasen			4,6	4,4	2,4

Kaksikaistaisen kiertoliittymän perusvälityskyky tulosuunnan yhdelle kaistalle lasketaan kaavalla 21.

$$C_p = \frac{3600(\theta_u + \theta_s)e^{-\theta_u(t_{c,u}-t_p)} - \theta_s(t_{c,s}-t_p)}{1 - e^{-t_f(\theta_u + \theta_s)}} \left(1 - \frac{q_u}{2000}\right) \left(1 - \frac{q_s}{2000}\right). \quad (21)$$

Alaindeksit  $u$  ja  $s$  tarkoittavat kiertotilan (oikeaa) ulko- ja (vasenta) sisäkaistaa. Kiertävän liikenteen minimiaikavälin  $t_p$  arvo on 1,8 sekuntia. Kriittinen aikaväli ja purkautumisaikaväli saadaan taulukosta 1 ja parametri  $\theta$  lasketaan molemmille kaistoille kaavan 2 mukaan. Kun tulosuunnan molemmat kaistat ovat ruuhkautuneet, saadaan koko tulosuunnan välityskyky laskemalla kaavalla 5 lasketut kaistojen välityskyvyt yhteen. (Luttinen et al. 2005.)

Suomalaisessa menetelmässä raskaiden ajoneuvojen ja jalankulkijoiden vaikutus välityskykyyn lasketaan samoin kuin tavallisessa valo-ohjauksettomassa liittymässä. Raskaan liikenteen korjauskerroin  $f_R$  lasketaan raskaiden ajoneuvojen osuuden  $P_R$  ja tulosuunnan pituus- kaltevuuden  $\alpha$  avulla:

$$f_R = (1 + 0,5P_R + 2,5P_R^2 + 10P_R\alpha)^{-1}, \text{ kun } 0,0 \leq P_R \leq 0,2 \quad (22)$$

$$f_R = (1 + P_R + 10P_R\alpha)^{-1}, \text{ kun } 0,2 < P_R \leq 1,0 \quad (23)$$

Korjauskerrointa käytetään välityskykytarkastelussa saapuvan liikenteen mittaushavaintojen (ajon/h) muuttamiseksi henkilöautoyksiköiksi (hay/h). Raskaaksi ajoneuvoksi (kaikissa menetelmissä) luokitellaan kuorma-autot, linja-autot ja työkoneet, sekä perävaunulliset ajoneuvot.

Jos tulosuuntaa risteää suojatie, kevyen liikenteen vaikutus otetaan huomioon korjauskertoimella  $f_J$ . Jalankulkija sulkee ajokaistan sen ylittämisen ajaksi  $t_s = \omega_k/v$ , jossa  $\omega_k$  on kaistan leveys ja  $v$  kävelynopeus (1,2 m/s). Kun sivuvirran ajoneuvoista osa  $p$  (tässä työssä  $p = 1$ ) väistää jalankulkijoita, voidaan jalankulkuliikenteen korjauskerroin laskea seuraavasti:

$$f_J = 1 - \frac{pt_s q_r}{3600}. \quad (24)$$

## 2.5.2 Hollantilainen menetelmä

Hollannissa kehitetty Bovy-kaava soveltuu sekä yksi- että kaksikaistaisten kierto liittymien välityskyvyn arviointiin (Tamminen 2013). Tämä menetelmä on ainut tutkittavista, joka tuottaa lineaarisen välityskykykäyrän. Kiertävä liikenne muutetaan henkilöautoyksiköiksi tunnissa samoin kuin yhdysvaltalaisessa menetelmässä eli kaavoilla 27 ja 28 (luvussa 2.5.4).

Saapuvan liikenteen välityskyky saadaan kaavasta:

$$C_E = \frac{1}{\gamma} \left[ 1500 - \frac{8}{9} (\beta \times Q_C + \alpha \times Q_S) \right], \quad (25)$$

jossa

$C_E$  = sisääntulokapasiteetti [hay/h],

$Q_C$  = kiertävä liikennemäärä [hay/h],

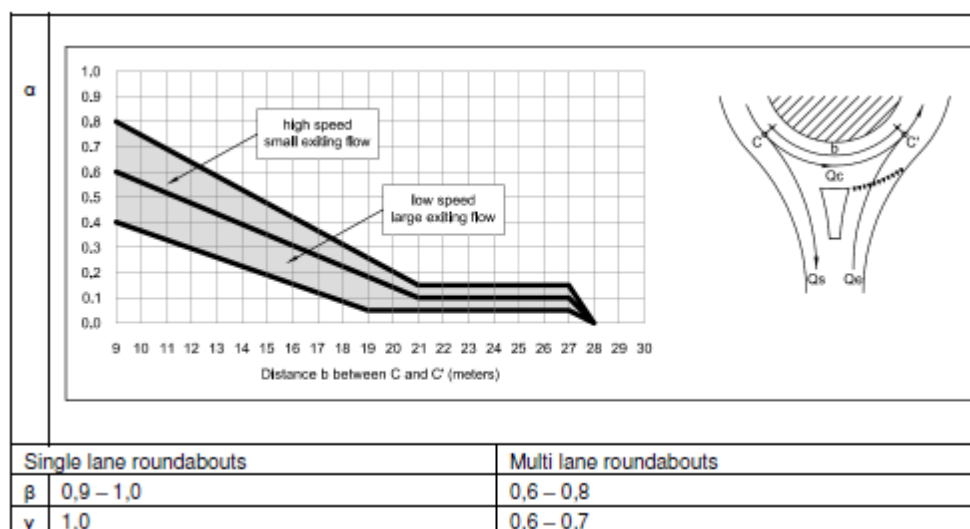
$Q_S$  = poistuva liikennemäärä sisääntulohaarasta [hay/h],

$\alpha$  = kerroin, poistumis- ja sisääntulokaistan etäisyys toisistaan,

$\beta$  = kerroin, kiertävien kaistojen lukumäärän mukaan ja

$\gamma$  = kerroin, sisääntulokaistojen lukumäärän mukaan. (DHV & Royal Haskoning 2009.)

Kertoimet saadaan kuvasta 6.



Kuva 6 Hollantilaisen menetelmän kertoimet (kuva: DHV & Royal Haskoning 2009).

Menetelmää on kehitetty myös erilaisille useampikaistaisille kiertoliittymäratkaisuille simuloitiohjelmiin, mutta niitä ei käsitellä tässä työssä. (DHV & Royal Haskoning 2009.)

### 2.5.3 Tanskalainen menetelmä

Välityskyky lasketaan kaavalla

$$G = \frac{(H_M + H_{c/k}) e^{-(H_M \tau_M + H_{c/k} \tau_{c/k})/T}}{1 - e^{-(H_M + H_{c/k})\delta/T}}, \quad (26)$$

jossa

$G$  = välityskyky [hay/T],

$H_M$  = moottorikäyttöisten ajoneuvojen lukumäärä kiertävässä liikennevirrassa [hay],

$H_{c/k}$  = polkupyörät ja mopot [ajon],

$\tau_M$  = kriittinen aikaväli moottoriajoneuvoille [s],

$\tau_{c/k}$  = kriittinen aikaväli polkupyörille [s],

$\delta$  = seuranta-aikaväli [s] ja

$T$  = tutkitun aikajakson pituus [s]. (Trafiktekniik 2010, s. 89.)

Tällä menetelmällä voidaan ottaa huomioon myös polkupyöräilijät ja mopoilijat. Mittaushavainnoista tehtiin suomalaisen menetelmän mukaan (kaavat 22 ja 23) muutokset ajoneuvoista henkilöautoyksiköiksi.

### 2.5.4 Yhdysvaltalainen menetelmä

Yhdysvaltalaisessa menetelmässä eli HCM:ssä (Highway Capacity Manual) arvioidaan sekä kiertävän liikenteen että saapuvan liikenteen liikennemäärät henkilöautoyksiköinä tunnissa ottamalla huomioon raskaat ajoneuvot ja kevyt liikenne (polkupyörät). Raskaiden ajoneuvojen vaikutus saadaan kaavoilla

$$v_{i,pce} = \frac{v_i}{f_{HV}} \text{ ja} \quad (27)$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}, \quad (28)$$

joissa

$v_{i,pce}$  = liikennemäärä liikennevirralle  $i$  [hay/h],

$v_i$  = liikennemäärä liikennevirralle  $i$  [ajon/h],

$P_T$  = raskaan liikenteen tai polkupyörien osuus liikennevirrasta,

$E_T$  = henkilöautoekvivalentti: henkilöautoille 1, raskaille ajoneuvoille 2 ja polkupyöriille 0,5. (HCM 2010.)

Yksikaistaisissa kiertoliittymissä käytetään kaavaa 29. Samaa kaavaa käytetään myös osittain kaksikaistaisissa kiertoliittymissä ratkaisuisissa, joissa liittymään saapuu kaksi kaistaa ja kiertäviä kaistoja on yksi. Tulosuunnan kokonaisvälityskyky edellä mainitussa tilanteessa saadaan siis kertomalla kaistakohtainen välityskyky kahdella.

$$C_{e,pce} = 1130e^{-0,001v_{c,pce}}, \quad (29)$$

jossa

$C_{e,pce}$  = saapumiskaistan välityskyky (raskaat ajoneuvot huomioituina) [hay/h] ja

$v_{c,pce}$  = kiertävän liikenteen liikennemäärä [hay/h]. (HCM 2010.)

Liittymäratkaisuisissa, joissa kiertoliittymään saapuu yksi kaista ja kiertotilassa on kaksi kaistaa, käytetään kaavaa 30 välityskyvyn arvioimiseen. (HCM 2010.)

$$C_{e,pce} = 1130e^{-0,0007v_{c,pce}}. \quad (30)$$

Jos liittymässä on kaksi kiertävää ja kaksi saapuvaa kaistaa, käytetään edellistä kaavaa (30) oikean saapuvan kaistan välityskyvyn arviointiin, ja vasemmalle saapuvalla kaistalla käytetään yhtälöä 31 (HCM 2010).

$$C_{e,pce} = 1130e^{-0,00075v_{c,pce}}. \quad (31)$$

### 2.5.5 Saksalainen menetelmä

Saksassa kehitetty menetelmä on vertailtavista menetelmistä samankaltaisin suomalaisen menetelmän kanssa. Käytössä ovat samat aikaväliparametrit, mutta niiden ohjearvot ovat erisuuruisia.

Minikiertoliittymän (keskisaarekkeen halkaisija 13–22 metriä) välityskyky lasketaan kaavalla

$$G_{PE} = \left(1 - \frac{t_{min}q_{PE,k}}{3600}\right) \frac{3600}{t_f} e^{-\frac{q_{PE,k}}{3600}\left(t_g - \frac{t_f}{2} - t_{min}\right)}, \quad (32)$$

jossa

$G_{PE}$  = perusarvo välityskyvyille [hay/h],

$q_{PE,k}$  = kiertävän liikenteen liikennemäärä [hay/h],

$t_g$  = kriittinen aikaväli (4,7 s),

$t_f$  = purkautumisaikaväli (3,1 s) ja

$t_{min}$  = kiertävän liikenteen minimiaikaväli (2,5 s) (FGSV 2015a).

Yksikaistaiselle kiertoliittymälle, jonka keskisaarekkeen halkaisija on yli 22 metriä, käytetään myös yhtälöä 32, mutta aikavälien arvot muuttuvat halkaisijan ( $D$ ) funktiona siten, että:

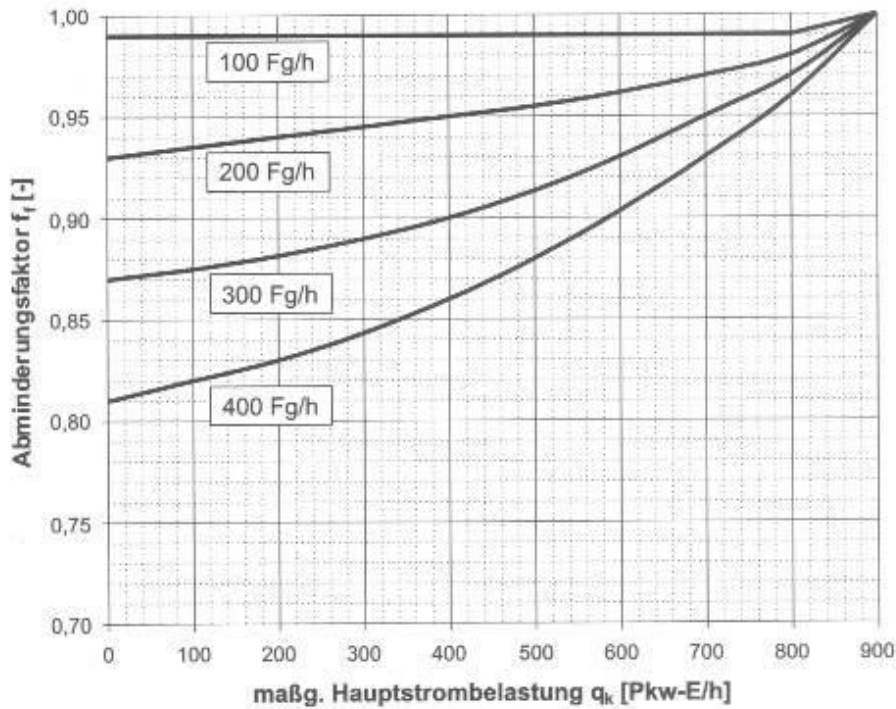
$$t_g = 3,86 + 8,27/D \text{ [s]}, \quad (33)$$

$$t_f = 2,84 + 2,07/D \text{ [s] ja} \quad (34)$$

$$t_{min} = 1,57 + 18,61/D \text{ [s]}. \quad (35)$$

Jos tulosuuntaa risteää suojatie, otetaan kevyen liikenteen vaikutus huomioon kuvassa 7 olevalla nomogrammilla saatavien korjauskertoimien avulla. (Fg/h = jalankulkijaa / tunti). Kiertävän liikenteen määrän ollessa yli 900 hay/h yksikaistaisessa kiertoliittymässä ei kevyen liikenteen vaikutusta tarvitse huomioida, koska jalankulkijat kulkevat tällöin tulosuuntaan kertyneen ajoneuvojonon välistä (Tuovinen, Enberg 2009).

Saksalaisessa menetelmässä raskaan liikenteen vaikutus otetaan huomioon muuttamalla sekä saapuva että kiertävä liikenne henkilöautoyksiköiksi. Kuorma-auton kerroin on 1,5 ja perävaunullisen kuorma-auton 2,0. (Tuovinen, Enberg 2009.) Tässä työssä käytettiin kaikille raskaille ajoneuvoille kerrointa 1,7 (FGSV 2015b).



Kuva 7 Tulosuunnan ylittävän suojatien korjauskerroin kiertävän liikenteen eri määrillä saksalaisen menetelmän mukaan.

Osittain kaksikaistaisille kiertoliittymille ilmestyi uuden HBS:n (FGSV 2015a) yhteydessä uudet ohjeet välityskyvyn arviointiin turbokiertoliittymissä. Tämä ”työkappale” (FGSV 2015b) on kuitenkin vasta koeversio ja ei siis ollut osana pääjulkaisua, mutta menetelmää kokeillaan ja käydään läpi tässä työssä.

Välityskyky-yhtälöitä on vain yksi:

$$C = \frac{3600}{t_f} \left(1 - \frac{t_{min} q_{k,u}}{3600}\right) \left(1 - \frac{t_{min} q_{k,s}}{3600}\right) e^{\left(-\frac{q_{k,u} + q_{k,s}}{3600}\right) \left(t_g - \frac{t_f}{2} - t_{min}\right)}, \quad (36)$$

jossa

$q_{k,u}$  = kiertävän liikenteen määrä ulommalla kiertävällä kaistalla [hay/h] ja

$q_{k,s}$  = kiertävän liikenteen määrä sisemmällä kiertävällä kaistalla [hay/h]. (FGSV 2015b.)

Jos saapuvia kaistoja on kaksi ja kiertäviä kaistoja on vain yksi, käytetään sen liikennemäärää toisessa kiertävän kaistan  $q$ :ssa ja toisen  $q$  on tällöin 0.

Liittymätyypit on jaettu neljään eri luokkaan, joista jokaiselle on estimoitu aikaväliparametrit erikseen. Suositukset on esitetty taulukossa 2.

*Taulukko 2 Aikaväliparametrien arvot saapuvien ja kiertävien kaistojen lukumäärän mukaan (FGSV 2015b).*

Liittymätyyppi (Saap. + Kiert.)	Kaista	Kriittinen aikaväli	Purkautumis-aikaväli	Kiertävän liikenteen minimiaikaväli
Z1 (2+1)	Molemmat	4,5	2,5	1,9
Z2 (1+1)	Yksi saapuva	4,5	2,5	1,9
Z3 (1+2)	Yksi saapuva	4,3	2,8	2,0
Z4 (2+2)	Saapuva vasen	4,0	2,6	1,9
	Saapuva oikea	4,5	2,7	2,0

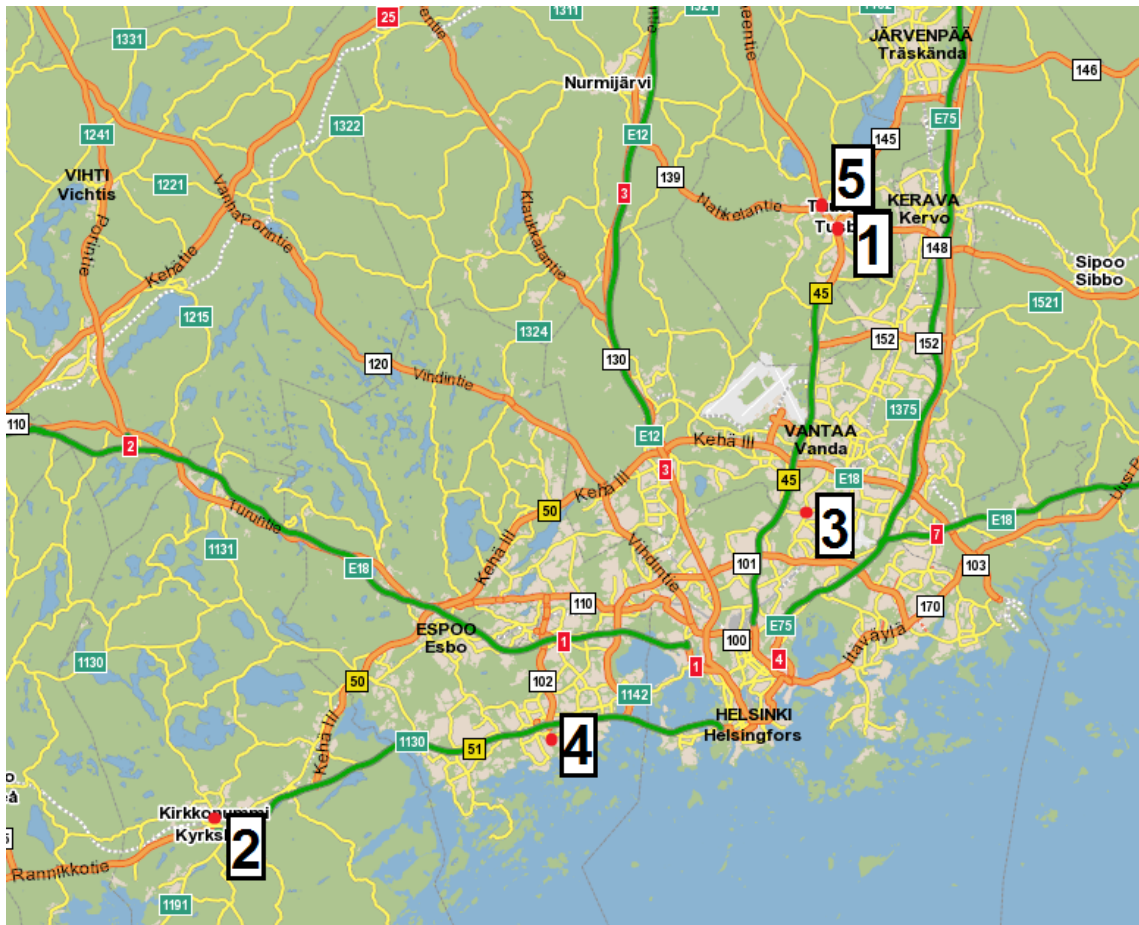
Periaate välityskyvyn laskemisessa on sama kuin yksikaistaisessa kiertoliittymässä, ainoastaan aikavälien arvot ovat erisuuruisia. Lisäksi julkaisussa on mainittu, että turbokiertoliittymät sopivat parhaiten liittymäratkaisuksi kohteisiin, joissa liittymän keskivuorokausiliikenne on 25 000–40 000 ajoneuvoa. Joten tämän laskentamenetelmän sopivuuteen tulee suhtautua varauksella tutkituissa kiertoliittymissä.

## 3 Tutkimuskohteet ja -menetelmät

### 3.1 Tutkimuskohteet

#### 3.1.1 Kohteiden valinta

Tutkimuskohteiksi pyrittiin valitsemaan mahdollisimman ruuhkautuneita kiertoliittymiä välitysky- ja aikavälitulosten saamiseksi. Jonoja eivät liittymissä kuitenkaan saaneet aiheuttaa liikennevalot tai suojatiet, joten tutkittaviksi kohteiksi päädyttiin valitsemaan seuraavat kuvassa 8 esitetyt kiertoliittymät. Kaikki kohteet sijaitsevat pääkaupunkiseudulla tai sen ympäryskunnissa. Kohteet 1–3 ovat osittain kaksikaistaisia kiertoliittymiä ja kohteet 4–5 yksikaistaisia kiertoliittymiä.



Kuva 8 Tutkimuskohteet isolla kartalla (kuva: Fonecta).

#### 3.1.2 Hyrylä eteläinen

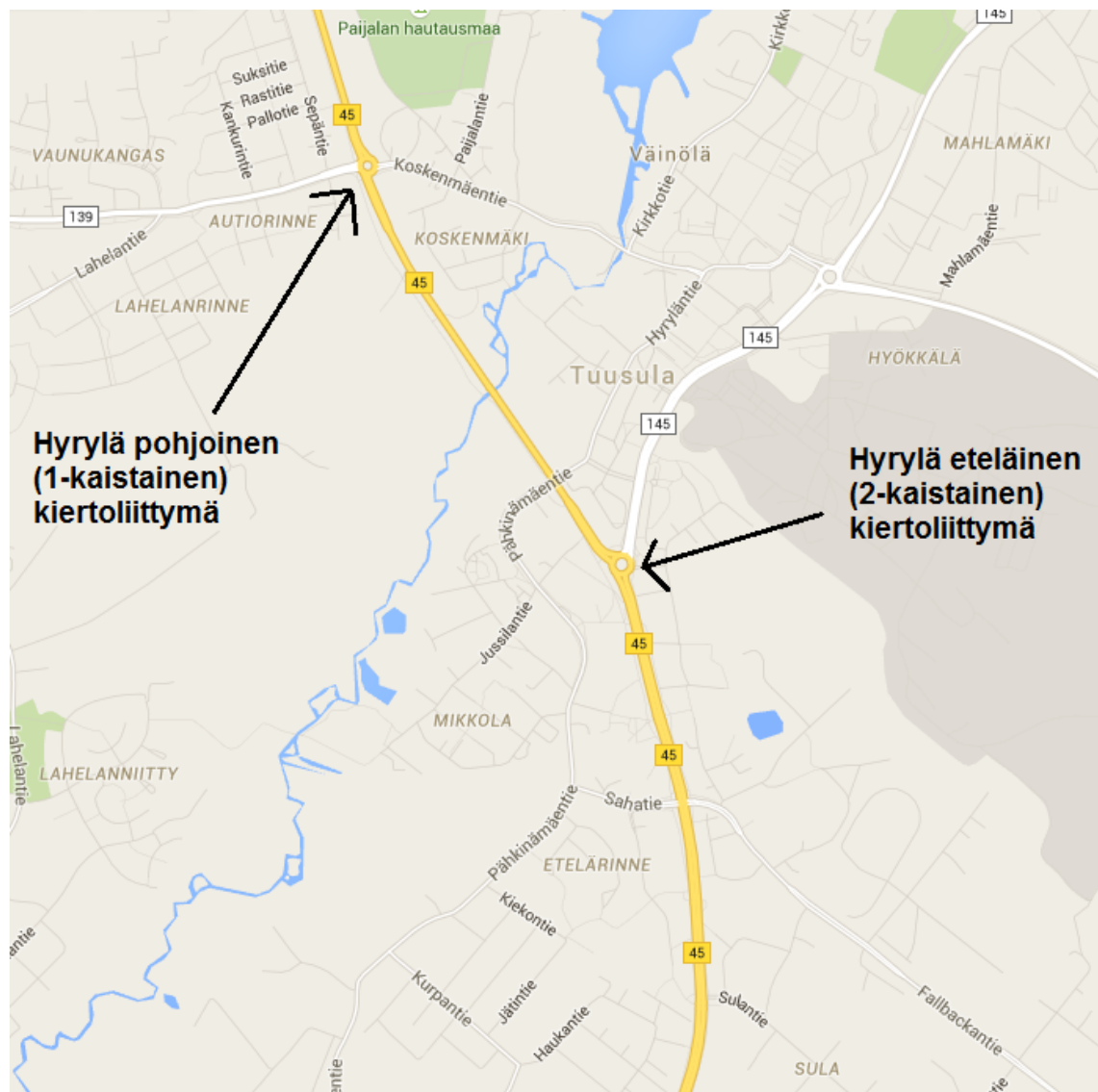
Tuusulan kunnan Hyrylän eteläinen kiertoliittymä oli osittain kaksikaistaisista tutkimuskohdeista ylivoimaisesti vilkasliikenteisin. Kiertoliittymä on esitetty kuvassa 8 numerolla 1 ja kuvassa 10 on ilmakehän kuva kohteesta. Tarkempi kartta Hyrylästä on kuvassa 9. Liittymään saapuu etelästä kaksi kaistaa, ja tässä haarassa on yksi kiertävä kaista. Itäisessä haarassa on kaksi kiertävää kaistaa, ja saapuvaa liikennettä tulee vain yhdeltä kaistalta. Pohjoisessa haarassa saapuvia kaistoja on kaksi ja kiertäviä yksi, kuten eteläisessäkin. Läntisessä haarassa sekä saapuvia että kiertäviä kaistoja on kaksi, mutta saapuvalla oikealta kaistalta saa kääntyä



vain oikealle eli etelään. Kevyt liikenne on sijoitettu eri tasoon (alapuolelle) kuin ajoneuvo-liikenne. Sivulla 9 esitetystä kuvassa 1 oleva liittymä on kaistajärjestelyiltään ja halkaisijaltaan samanlainen kuin tämä liittymä.

Kiertoliittymä on tilava ja kaistat ovat leveitä (noin 5 m). Keskisaarekkeen halkaisija on 50 metriä, joka tekee liittymästä suurimman tutkittavista kohteista. Ilta ruuhkassa liittymän kiertotila oli kuitenkin ajoittain tukkeutunut johtuen länteen poistuvan liikenteen jonottamisesta seuraavaan kiertoliittymään, joka oli toinen tutkimuskohde Hyrylässä.

Etelästä tuleva tie on kantatie 45 eli Tuusulanväylä, joka muuttuu 3,5 km ennen liittymää moottoritiestä kaksiajorataiseksi väyläksi, jossa on 70 km/h nopeusrajoitus. Kiertoliittymässä ja sen läheisyydessä on 50 km/h nopeusrajoitus. Idässä on huoltoasema, vanha varuskunta ja asuinalueita. Pohjoisessa on Hyrylän keskustan palvelut, ja siihen suuntaan poistuva tie jatkuu Järvenpäähän ja Keravalle. Länteen (luoteeseen) poistuva tie, eli kantatie 45, jatkuu Hyvinkäälle.



Kuva 9 Hyrylän kiertoliittymät kartalla (kuva: Google Maps).



Kuva 10 Hyrylän osittain 2-kaistainen kiertoliittymä (ilmakuva: Bing Maps 2011).

### 3.1.3 Kirkkonummi

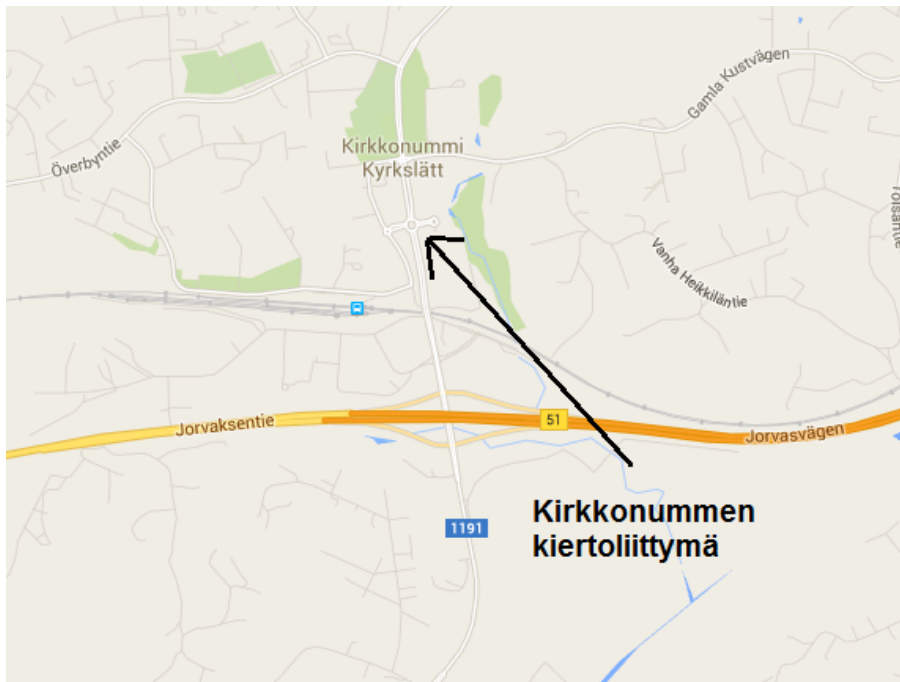
Kirkkonummella sijaitseva osittain kaksikaistainen kiertoliittymä oli ensimmäisenä tutkittava kohde, joka on kuvassa 8 numero 2. Kuvassa 11 on kohteen tarkempi sijainti ja kuvassa 12 on ilmakuva kiertoliittymästä. Keskisaarekkeessa kiinni olevat sulkualueet etelä- ja pohjoispuolella tekevät kiertoliittymästä turbo-kiertoliittymän näköisen, mutta liittymä on silti osittain kaksikaistainen kiertoliittymä, koska ajoneuvot voivat vaihtaa kaistaa kiertotilassa.

Sekä etelään että pohjoiseen on kaksi poistuvaa ja kaksi saapuvaa kaistaa. Länteen ja itään on yksi poistuva ja yksi saapuva kaista. Kiertäviä kaistoja on läntisessä ja itäisessä haarassa kaksi, ja eteläisessä ja pohjoisessa haarassa yksi. Etelään poistuvista kaistoista vasen päättyy 150 metriä liittymän jälkeen. Pohjoiseen poistuvista kaistoista vasen kaista päättyy liikennevaloihin vasemmalle kääntyvien kaistalle 170 metriä liittymän jälkeen. Kyseisten liikennevalojen takia kiertoliittymän itäinen ja eteläinen kiertotila oli tukossa useaan otteeseen ilta-ruuhkassa. Kiertoliittymän keskisaarekkeen halkaisija on 28 metriä, ja liittymä sijaitsee 40 km/h nopeusrajoitusalueella. Kevyen liikenteen väylät on sijoitettu kiertoliittymän alapuolelle, paitsi itäisessä haarassa, jossa suojatie ylittää ajoradan noin 15 metrin etäisyydellä kiertotilasta.

Eteläisessä suunnassa on kantatie 51, joka on Kirkkonummen kohdalla moottoritie. Idässä sijaitsee kauppakeskus Kirsikka ja lännessä virastotalo, palveluita, rautatieasema ja linja-autoasema. Pohjoisessa on asuinalueita ja seututie Kirkkonummen pohjoisosiin ja toinen liittymä keskustaan.



Aamu- ja iltaruuhka kuvattiin eri päivinä. Iltaruuhkan kuvauspäivänä tiemerkinnot olivat erittäin kuluneet, kun taas aamuruuhkan kuvauspäivänä merkinnot olivat vastamaalatut.



Kuva 11. Kirkkonummen kiertoliittymä kartalla (kuva: Google Maps).

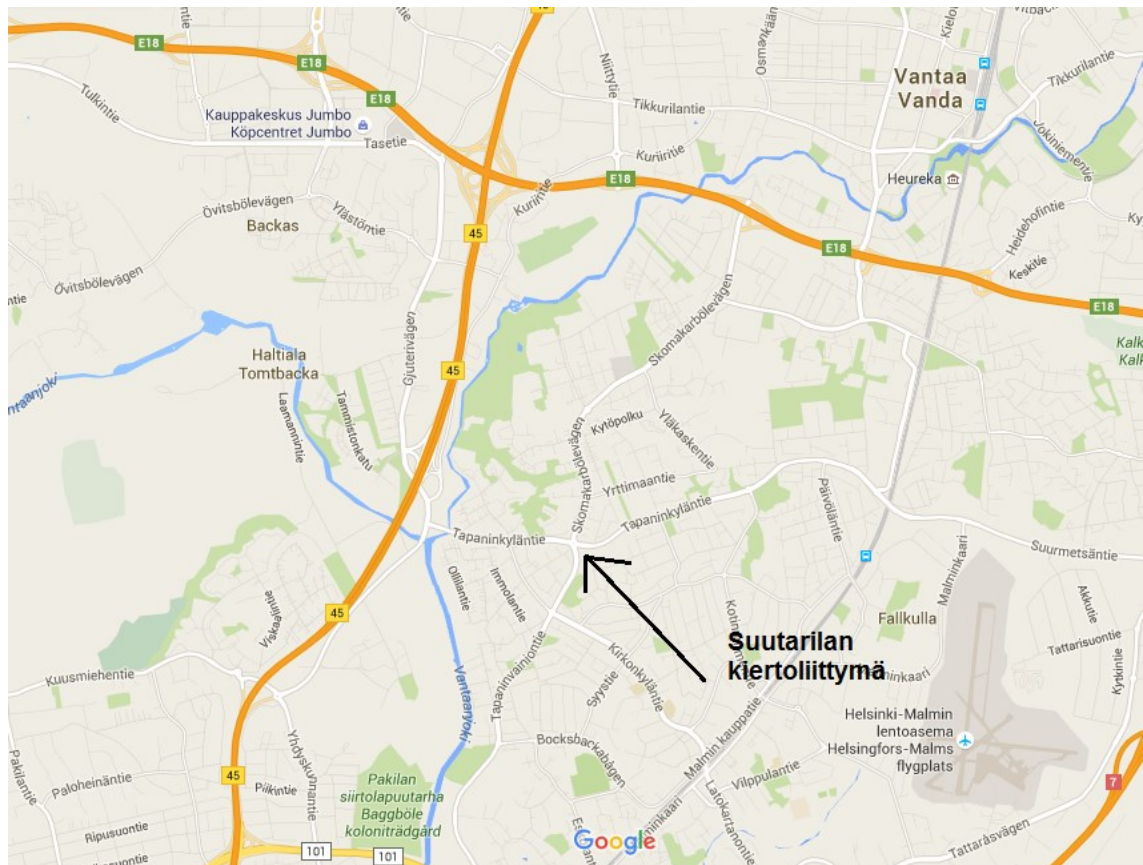


Kuva 12 Kirkkonummen kiertoliittymä (ilmakuva: Google Maps 2015).

### 3.1.4 Suutarila

Kuvassa 8 tämä liittymä on numero 3 ja kuvassa 13 on tarkempi kartta liittymän alueelta. Kuvassa 14 on Suutarilan kiertoliittymä kuvattuna ilmasta. Kiertoliittymään tulee etelästä kaksi kaistaa ja tässä haarassa kiertäviä kaistoja on yksi. Idästä tulee kaksi kaistaa, joista oikeanpuoleisesta saa kääntyä ainoastaan oikealle. Kiertäviä kaistoja on tässä haarassa kaksi, joista ainoastaan ulommaiselta saa kääntyä oikealle (pohjoiseen). Pohjoisesta tulee kaksi kaistaa, ja tässä haarassa kiertäviä kaistoja on yksi. Läntisessä haarassa kiertäviä kaistoja on kaksi ja saapuvia kaistoja on kaksi, joista oikeanpuoleiselta täytyy kääntyä oikealle (etelään). Jokaisella suunnalla on siis kaksi saapuvaa kaistaa. Etelään poistuu kaksi kaistaa, joista oikeanpuoleinen päättyy sadan metrin päässä liittymästä. Liittymässä on 50 km/h nopeusrajoitus. Kevyelle liikenteelle on suojatie pohjoisessa ja itäisessä haarassa.

Kiertoliittymästä etelään sijaitsee Kehä I, Pukinmäki ja ajoyhteys Malmin kaupunginosaan. Idässä kiertoliittymästä on Tapanila ja Malmin lentoasema. Pohjoisessa on Suutarila ja Kehä III. Lännessä on Vantaan Tammiston kaupunginosa ja Tuusulanväylä (kantatie 45).



Kuva 13 Suutarilan kiertoliittymä kartalla (kuva: Google Maps).





Kuva 14 Suutarilan kiertoliittymä (ilmakuva: Bing Maps 2011).

### 3.1.5 Matinkylä

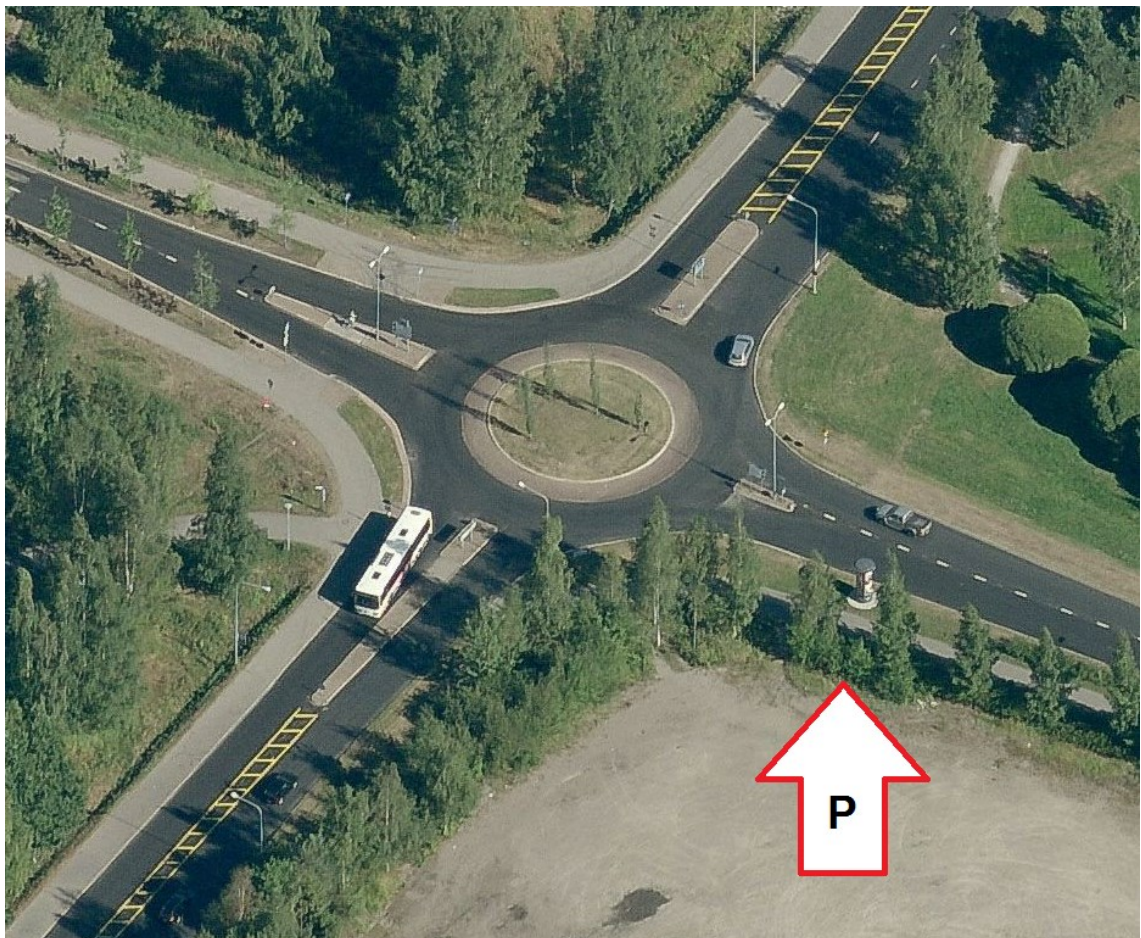
Kuvassa 15 on kartta Matinkylän seudusta ja kuvassa 16 ilmakuvaa Matinkylän (Gräsanlaakson) kiertoliittymästä. Ilmakuvaa on otettu sellaiseen aikaan, että kuvassa eivät näy kaistamerkinnyt tai suojatiet. Mittauspäivänä kuitenkin kaikki tiemerkinnyt olivat kunnossa. Kuvassa 8 tämä liittymä on numero 4. Liittymä sijaitsee Kehä II:lta Matinkylään jatkuvalla tiellä.

Matinkylän kiertoliittymässä suojatie ylittää ajoradan seitsemän metrin etäisyydellä kierto-tilasta sekä eteläisessä että läntisessä haarassa. Kiertotilan halkaisija on 17 metriä, ja korotetun osan leveys 2,6 metriä. Kuvasta 18 nähdään, että korotettuun osaankin on syntynyt tummia jälkiä renkaista. Tästä voidaan päätellä, että kaikki ajoneuvot eivät välttä sen yli ajamista, joten välityskykylaskelmissa käytettiin halkaisijana 17 metriä. Liittymä sijaitsee 40 km/h nopeusrajoitusalueella.

Liittymään pohjoisesta tuleva tie tulee tärkeiltä seudullisilta pääväyliltä, Länsiväylältä (kantatie 51) ja Kehä II:lta (seututie 102). Länneestä tuleva liikenne tulee Piispansillalta, jossa sijaitsee muun muassa kauppakeskus Iso Omena. Etelästä tuleva liikenne tulee niin ikään myös Isosta Omenasta, mutta myös Matinkylän kaupunginosan asuinalueelta. Idästä tuleva tie tulee Haukilahden kaupunginosasta, mutta sieltä on myös yhteys Länsiväylälle. Ennen länsimetron rakentamisen aloittamista liikenne kauppakeskukseen opastettiin ajamaan kiertoliittymästä länteen. Nykyään opastaulut opastavat kauppakeskukseen ajattamalla etelään, mikä todennäköisesti on lisännyt kiertävää liikennettä läntisen haaran kohdalla.



Kuva 15 Matinkylän kiertoliittymä kartalla (kuva: Google Maps).



Kuva 16 Matinkylän kiertoliittymä (ilmakuva: Bing Maps 2011).

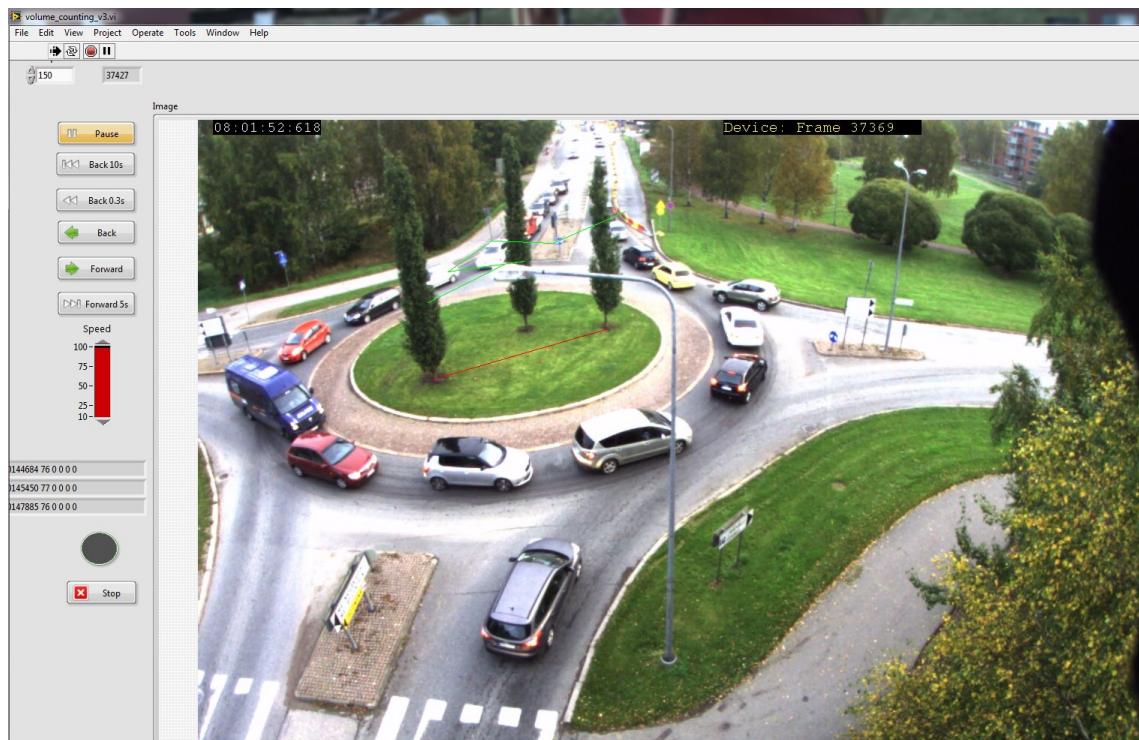


Liittymästä pohjoiseen poistuvalla suunnalla on yksi kaista, mutta välittömästi haaran jälkeen tie muuttuu kaksikaistaiseksi. Mittauspäivänä toinen kaista oli suljettu tietöiden takia, mikä aiheutti aamuruuhkassa jonoutumista seuraavissa liikennevaloissa. Tämän seurauksena kiertotila oli tukossa vähintään kerran viidessä minuutissa. Kuvassa 17 näkyy, miten kaista oli suljettu.



*Kuva 17 Tietöitä Matinkylän kiertoliittymän läheisyydessä mittauspäivänä.*

Kuvassa 18 näkyy, mikä oli kaistan sulkemisen vaikutus. Kuvassa näkyvä tilanne oli huonoimpia mahdollisia hetkiä liittymän toimivuuden kannalta, mutta ei ollut kuitenkaan poikkeuksellista, että tukkeutuminen heijastui kaikkiin haaroihin.



Kuva 18 Matinkylän kiertoliittymän kiertotilan tukkoisuus aamuruuhkassa.

### 3.1.6 Hyrylä pohjoinen

Kuvassa 19 on Hyrylän pohjoinen kiertoliittymä. Isolla kartalla (kuva 8) tämä liittymä on numero 5. Liittymä sijaitsee kantatien 45 varrella noin 1,4 kilometriä luoteeseen Hyrylän eteläisestä kiertoliittymästä.

Keskisaarekkeen halkaisija tässä liittymässä on 40 metriä. Kevyenliikenteenväylät ovat tunnelleissa liittymän läntisen ja eteläisen haaran alla, joten suojateitä ei ole liittymässä lainkaan. Liittymässä on 50 km/h nopeusrajoitus.

Liittymään etelästä saapuva liikenne saapuu aiemmin esitellystä osittain kaksikaistaisesta kiertoliittymästä. Idästä saapuva liikenne tulee Hyrylän keskustan palveluista, mutta osa on myös läpiajoliikennettä tieltä 145. Pohjoisesta saapuva liikenne tulee Hyvinkään suunnalta, ja matkalla on myös muutama isompi taajama. Lännestä saapuva liikenne tulee Nurmijärven suunnalta seututieltä 139. Nurmijärvelle johtavan tien varrella on asutusta ja jonkin verran teollisuutta. Liittymässä oli melko paljon raskasta liikennettä.





Kuva 19 Hyrylän 1-kaistainen kiertoliittymä (ilmakuva: Bing Maps 2011).

## 3.2 Tutkimusmenetelmät

### 3.2.1 Videomateriaalin kuvaus

Mittausmenetelmänä oli videokuvaus. Työssä käytetty videomateriaali kuvattiin syksyllä 2014 ja 2015 edellisessä luvussa sekä taulukossa 3 mainituissa kohteissa. Videoiden kuvaus suoritettiin siten, että 12-metrinen teleskooppivartisen maston päässä oli kaksi (Kirkkonummen iltaruuhkassa neljä) videokameraa, jotka oli suunnattu kohteen vaatimalla tavalla. Kamera-mastoyhdistelmä on rakennettu vedettävälle kaksiakseliselle perävaunulle. Kuvassa 20 on masto pystytettynä Kirkkonummen kiertoliittymässä. Kameroiden suuntausta pystyttiin säätämään kauko-ohjaimella, mikä oli tarpeen varsinkin silloin, kun auringonvalosta alkoi muodostua kuvaan jälkiä, joiden läpi ei nähnyt. Vaikka kuvakulma muuttui hiukan, ei se vaikuttanut tuloksiin, koska ajoneuvojen merkitsemiskohdat olivat aina kahden kiinteän pisteen välillä.

Taulukko 3 Videokuvausten ajankohdat.

Paikka	Tyyppi ja halkaisija	Aamuruuhka		Iltaruuhka		Sää
		Pvm	Klo	Pvm	Klo	
<b>Hyrylä eteläinen</b>	2-kaistainen 50 m	To 23.10.2014	6:45- 7:50	To 23.10.2014	15:00- 16:30	Pilvinen
<b>Kirkkonummi</b>	2-kaistainen 26 m	To 18.9.2014	6:50- 9:05	Ma 1.9.2014	15:47- 17:10	Puoli- pilvinen
<b>Suutarila</b>	2-kaistainen 28 m	To 2.10.2014	6:45- 8:00	To 2.10.2014	15:00- 16:05	Puoli- pilvinen
<b>Matinkylä</b>	1-kaistainen 17 m	To 24.9.2015	7:40- 9:15	To 24.9.2015	14:54- 18:35	Puoli- pilvinen
<b>Hyrylä pohjoinen</b>	1-kaistainen 40 m	Ke 28.10.2015	6:30- 9:00	Ke 28.10.2015	14:55- 18:00	Aurinkoi- nen



*Kuva 20 Masto pystytettynä (kuva: Åsa Enberg).*

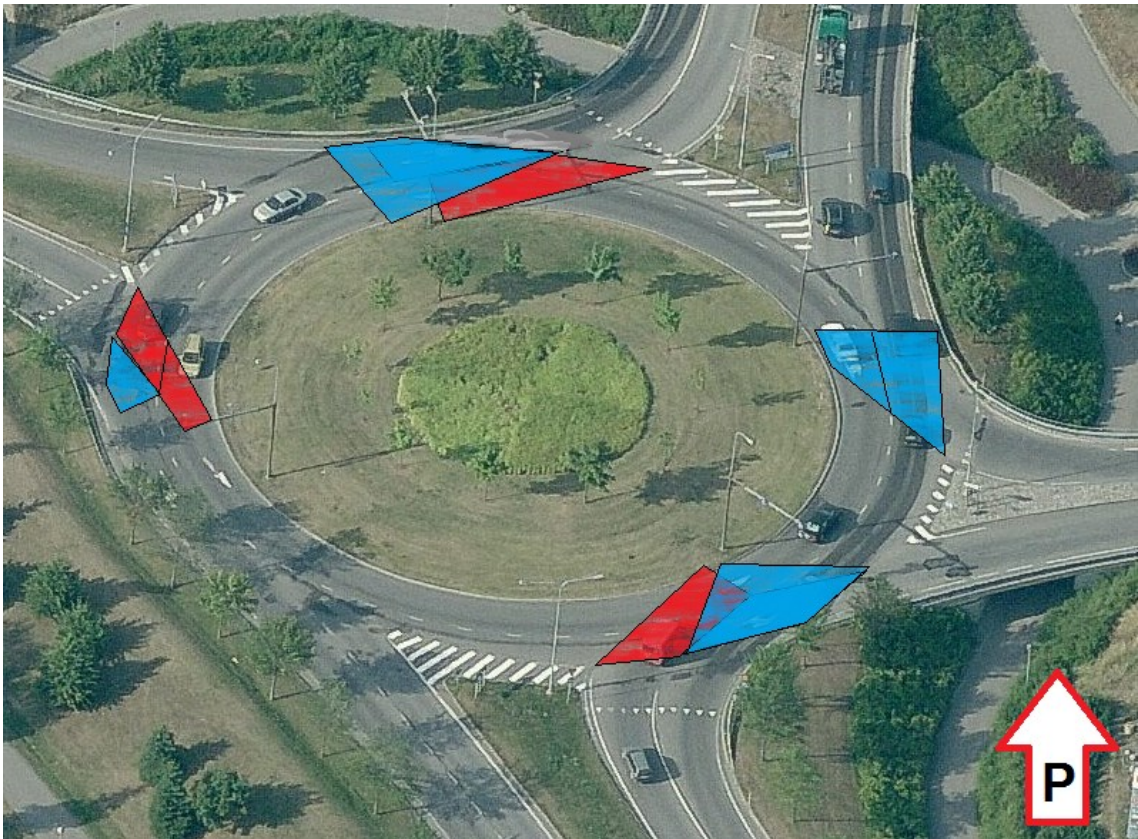
Kuvaaminen aloitettiin aikaisin aamulla ja lopetettiin, kun liikennemäärät alkoivat selvästi vähentyä iltaruuhkan jälkeen. Videoista purettiin kuitenkin vaan ruuhkaisimmat ajat. Hyrylän pohjoisessa liittymässä maston runko käytiin laittamassa paikoilleen jo edellisenä päivänä, koska kohteen maasto vaikutti hankalalta pystytystä ajatellen.



### 3.2.2 Videomateriaalin purku

Kaikki videot purettiin pääasiassa käyttämällä Aalto-yliopiston liikennelaboratoriossa tehtyä Labview-pohjaista ohjelmaa, jota on kehitetty liikennelaskentaa ja -tutkimuksia varten. Joissain videoissa oli kuitenkin kohtia, jotka jouduttiin purkamaan käsin. Ohjelmalla pystytään piirtämään videokuvaan apuviivoja, joiden avulla ajoneuvot tulevat merkityiksi aina samassa pisteessä. Ajoneuvon keulan ylittäessä halutun rajan eli edellä mainitun apuviivan, painetaan kyseisen ajoneuvon ajoneuvoluokalle valittua näppäintä. Ohjelma rekisteröi loki-tiedostoon näppäimen painamishetkellä videolla näkyvän kellonajan, sekä painetun näppäimen ASCII-koodin. Näiden tietojen perusteella saatiin määriteltyä lähes kaikki tässä työssä tarvittavat tiedot.

Aikavälien tutkimiseen käytettiin konfliktialuemenetelmää. Konfliktialue on alue, jossa risteävistä suunnista saapuvat ajoneuvot voivat osua toisiinsa. Kuvassa 21 on esitetty, miten konfliktialueet eri haaroissa määritettiin Hyrylän osittain kaksikaistaisessa kiertoliittymässä, ja samaa periaatetta käytettiin myös muissa osittain kaksikaistaisissa kiertoliittymissä. Kuvassa punaiset alueet ovat vasemman saapuvan kaistan konfliktialueita. Alueiden muoto vaihtelee, mutta merkitystä on vain sillä reunalla, johon ajoneuvot saapuvat ensimmäisenä.



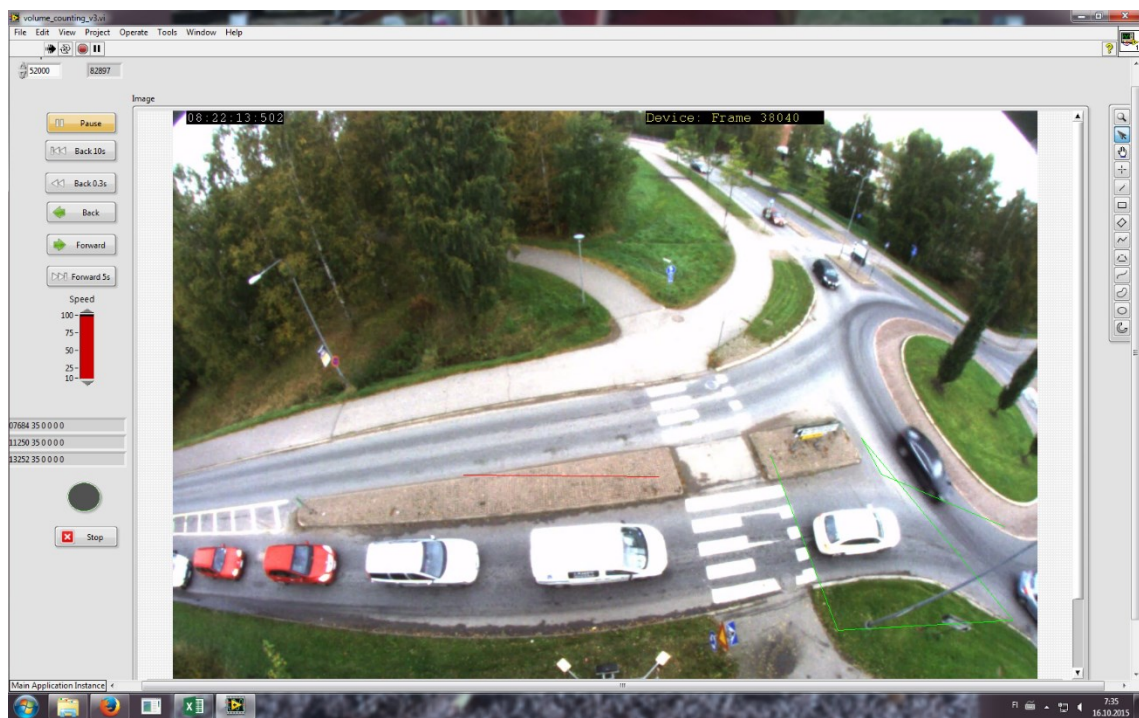
Kuva 21 Konfliktialueet Hyrylän osittain kaksikaistaisessa kiertoliittymässä (kuvaa muutettu, alkuperäinen kuva: Bing Maps 2011).

Videomateriaalia purettiin tarkkailemalla kerrallaan yhtä tulosuuntaa ja kyseisen tulosuunnan kanssa risteävää kiertävää liikennettä. Kaksikaistaisissa samalla katselukerralla puretut suunnat vaihtelivat, mutta jokainen haara katsottiin kaksi kertaa. Tulosuunnalle määritettiin raja, jossa auton saapuminen odotusalueelle rekisteröitiin. Rajan sijainti määritettiin siten,

että sen ja konfliktialueen väliin ei mahtunut kuin yksi ajoneuvo. Tässä pisteessä rekisteröitiin myös ajoneuvotyyppi saapuvalle liikenteelle. Kiertävää liikennettä tarkkailtaessa rekisteröitiin kaista sekä aika, jolloin liittymään saapuva ajoneuvo ylittää konfliktialueen rajan. Jos sekä tulosuunnalla että kiertotilassa oli kaksi kaistaa, tulosuunnan vasemmalta kaistalta liittymään saapuva ajoneuvo merkittiin saapuneeksi vasta, kun se oli ylittänyt kiertotilan ulomman kaistan.

Kiertävää liikennettä tarkkailtaessa määritettiin konfliktialueen raja, jossa rekisteröitiin kiertävät ajoneuvot. Raja sijaitsi liittymään saapuvan liikenteen ajokaistan (-linjan) ulkoreunalla. Tällä rajalla merkittyjen ajoneuvojen aika- ja tyyppitietojen perusteella voitiin määrittää kiertävän liikenteen aikavälit, ajoneuvotyyppijakauma, kiertävän liikenteen kaistankäyttöosuudet ja kriittinen aikaväli.

Kuvassa 22 on esimerkki, miten ajoneuvot merkittiin Matinkylän kiertoliittymässä. Heti suojatien jälkeen näkyvä vihreä viiva on raja, jossa ajoneuvo merkittiin saapuneeksi odotustilaan, ja kiertotilan rajalla näkyvällä viivalla ajoneuvo merkittiin liittymään saapuneeksi. Kiertotilassa oleva tumma ajoneuvo on juuri ylittänyt rajan, jossa kiertävä ajoneuvo merkittiin.



Kuva 22 Videonpurkuohjelma.

Videon nopeus purettaessa oli pääasiassa seitsemän yhdeksäsosaa (~78 %) todellisesta nopeudesta (vaihteli jonkin verran), mutta ruuhkaisimpina aikoina nopeutta muutettiin vielä hitaammaksi. Tämä oli tarpeen varsinkin osittain kaksikaistaisten liittymien kohdalla ja erityisesti pimeällä.

Tutkimuksen aikana tallentui 103546 riviä ASCII-koodia eli näppäinpainallusta tai käsin syötettyä aika- ja ajoneuvoluokkatietoa. Videomateriaalia purettiin yhteensä noin 60 tuntia, joista noin 30 tuntia katsottiin kahteen kertaan (kaksikaistaiset).

### 3.2.3 Datan käsittely

Datan käsittely tapahtui pääasiassa Microsoft Excelillä. Exceliin syötettiin edellisessä alaluvussa mainitusta ohjelmasta saadut tiedot, joiden avulla saatiin ajoneuvoluokat, kaistankäyttöjakaumat sekä aikavälitietoja. Kuvassa 23 on esitetty peruslähtökohta, josta dataa lähdettiin tarkemmin analysoimaan. Purkuohjelma tuotti kaksi vasemmanpuoleista saraketta. Kuvassa näkyvät numerot ensimmäisessä sarakkeessa ovat kellonaikoja. Ensimmäisellä rivillä oleva numerosarja tarkoittaa siis kellonaikaa 16:05:46,645 eli sekunnit näkyvät tuhannesosien tarkkuudella. Toisessa sarakkeessa näkyvät kaksinumeroiset luvut ovat ajoneuvojen koodeja. Esimerkiksi 35 on kiertävä henkilöauto (näppäin z), 77 on odotusalueelle saapuva henkilöauto (näppäin 1) ja 76 on kiertotilaan saapuva mikä tahansa ajoneuvo (näppäin 0). Esimerkiksi neljännellä rivillä oleva saapuva ajoneuvo (76) hyväksyi 2,013 sekuntia pitkän alkuaikavälin eikä hylännyt yhtään aikaväliä.

Kello	Ajoneuvo	Kiertävä	Saapuva	Odottava
160546645	35	1	0	0
160548312	77	0	0	1
160549800	76	0	1	0
160551813	35	1	0	0
160553680	77	0	0	1
160555381	76	0	1	0
160557614	77	0	0	1
160559381	35	1	0	0
160602816	35	1	0	0
160606014	35	1	0	0
160607615	76	0	1	0
160608115	77	0	0	1
160611416	76	0	1	0
160611916	77	0	0	1
160614284	33	1	0	0
160616384	33	1	0	0
160618250	35	1	0	0
160619983	76	0	1	0
160620452	77	0	0	1
160624217	33	1	0	0
160626585	12	1	0	0
160628052	35	1	0	0
160630152	35	1	0	0
160632253	35	1	0	0

Kuva 23 Lähtötiedot Excelissä.

Aikavälejä Excelissä käsiteltiin siten, että tulosuunnalta kiertotilaan liittyvän ajoneuvon katsottiin hylkäävän aikavälin, jos ajoneuvo saapui odotusalueelle siten, että se olisi ehtinyt kiertotilaan ennen seuraavaa kiertävää ajoneuvoa. Tässä käytettiin tyhjiin liittymään (ei väistettäviä) ajoneuvojen keskimääräistä aikaa, joka kului odotusalueen rajalta konfliktialueen rajalle ajamisessa. Tämä aika ei ollut niin oleellinen, koska kriittisen aikavälin estimoimisessa sillä ei ole (isoa) merkitystä, onko suurin hylätty aikaväli 0 vai 0,5 sekuntia. Jos ajoneuvo hylkäsi monta aikaväliä, selvitettiin niistä suurin.

Kun ajoneuvo hyväksyi aikavälin, tutkittiin hyväksytyn aikavälin pituutta. Monissa kierto-liittymissä kiertävää liikennettä oli vähän, joten tutkittiin alkuaikaväliä. Alkuaikaväli on aika, joka kuluu ajoneuvon saapumisesta kiertotilaan seuraavan kiertävän ajoneuvon saapumiseen samaan pisteeseen (tässä työssä alueelle). Tuloksia oltiin valmiit käsittelemään myös poistamalla aikavälipareista (hyväksytty ja suurin hylätty) sellaiset, joissa hyväksytty aikaväli oli yli 11 sekuntia (Luttinen 2004, s. 180), mutta tätä toimenpidettä ei mittaushavaintojen käsittelyssä tarvinnut tehdä. Suurimman uskottavuuden menetelmällä yhtätoista sekuntia

kokeiltiin testimielessä, mutta nämä tulokset antoivat todella pieniä kriittisen aikavälin estimaatteja.

Alkuaikavälejä määrittäessä sekä hyväksyttyihin että hylättyihin aikaväleihin tehtiin pieniä muutoksia saapumis- tai kiertämiskaistan perusteella, koska konfliktialuemenetelmällä on hankala huomioida kaksikaistaisten kiertoliittymien geometriasta aiheutuvia välimatkaeroja. Tehdyt muutokset olivat suuruusluokkaa 0,5–1,0 sekuntia. Tästä aiheesta kerrotaan tarkemmin luvussa 6.4 (virhelähteet).

### 3.2.4 Ongelmat

Videomateriaalin tallennuksessa ja käsittelyssä oli ongelmia. Suurin osa tallennetuista videoista sisälsi jonkin viallisen tiedon, jota videonpurkuohjelma ei pystynyt käsittelemään vaan kaatui. Näistä viallisista videoiden osista kerättiin tietoa ainoastaan poistuvan liikenteen kaistajakaumasta, muilta osin ne jäivät käsittelemättä.

Matinkylän liittymää kuvattaessa ilmeni myös kokonaan uudenlainen ongelma: toisen kameran käyttämä tietokone tai sen kovalevy ei pystynyt tallentamaan dataa tavallisella 30 kuvaa/s -määrällä, vaan kuva pysähtyi välillä noin kymmeneksi sekunniksi, ja tämän seisahtumisen aikana videokuvaa oli tallentunut vain noin sekunnin tai kahden välein. Tällaisen ongelman sattua tiedot pystyttiin kuitenkin keräämään manuaalisesti, mutta tarkkuus ei luonnollisestikaan ollut yhtä hyvä kuin tavallisessa tilanteessa.

Myös valaistusolosuhteet aiheuttivat ongelmia. Varsinkin ajoneuvojen tunnistus ajoneuvo-luokittain oli kiertoliittymän takana (kuvauspisteestä katsottuna) melkein mahdotonta. Nämä virheet pystyttiin kuitenkin huomaamaan ajoneuvon tullessa parempaan pisteeseen kuvassa. Näitä virheitä syntyi ja korjattiin satoja.

Todella pimeään aikaan jouduttiin kameroiden valotusaikaa säätämään, joka johti kuvaa per sekunti -määrän pienenemiseen. Tämän seurauksena (pieni) osa videoista tallentui nopeudella 10 kuvaa sekunnissa. Hyrylän yksikaistaista liittymää kuvattaessa pimeys tuli nopeasti ja noin 15 minuuttia oli erityisen pimeää, ennen kuin katuvalot kytkeytyivät päälle.

Jos kuva ei ollut liian pimeä, pystyttiin purkuvaiheessa näytön kontrastia ja kirkkautta säätämällä parantamaan kuvaa riittävästi, että ajoneuvot näkyivät hieman paremmin. Kuitenkaan hämärällä ilman ajovaloja ajavia ajoneuvoja ei pystynyt näistä toimenpiteistä huolimatta tunnistamaan oikealla hetkellä, vaan ne tarkistettiin ja merkittiin käsin.

Liika valo aiheutti myös ongelmia. Auringon paistaessa huonosta kulmasta oli kuvaan muodostuneen aurinkoläiskän taakse mahdotonta nähdä. Nämä ongelmat johtivat kuitenkin vain siihen, ettei saapuvaa ajoneuvoa havaittu niin kaukaa kuin olisi ollut toivottavaa ja videon hidastamisella saatiin haluttu tieto otettua talteen.

Hyrylän kaksikaistaisen kiertoliittymän datan purkamisessa jouduttiin eteläisen ja itäisen haaran osalta käyttämään kahta eri kameraa, toista odottavalle, ja toista saapuvalle ja kiertävälle liikenteelle. Kameroiden kellot eivät olleet jostain syystä täysin synkronoituneet, joten ero jouduttiin tarkistamaan ja muuttamaan käsin.

## **4 Tulokset**

### **4.1 Liikennemäärät**

#### **4.1.1 Liikennemäärien laskeminen ja esitys**

Liikennemäärät saatiin selvitettyä samoista mittaushavainnoista kuin aikavälitkin. Jokaiselta minuutilta laskettiin saapuvien ja kiertävien ajoneuvojen lukumäärä konfliktialueelle saavuttaessa (kaistoittain), ja viiden minuutin tulokset laskettiin yhteen. Summa kerrottiin kahdellatoista, mistä saatiin yksiköksi ajoneuvoa tunnissa. Jos viimeinen tutkittava aikajakso oli lyhyempi kuin 5 minuuttia, muutettiin mitattu liikennemäärä ajoneuvoiksi tunnissa kyseisen aikajakson pituuden perusteella (eli esimerkiksi neljän minuutin aikajakson liikennemäärä kerrottiin viidellätoista ja kolmen minuutin aikajakson kahdellakymmenellä).

Kuvaajissa on esitetty liikennemäärä aina alkavan viiden minuutin aikajaksolta. Eli jos piste sijaitsee vaaka-akselilla kohdassa 7:00, on kyseessä liikennemäärä aikajaksolta 7:00:00–7:04:59.

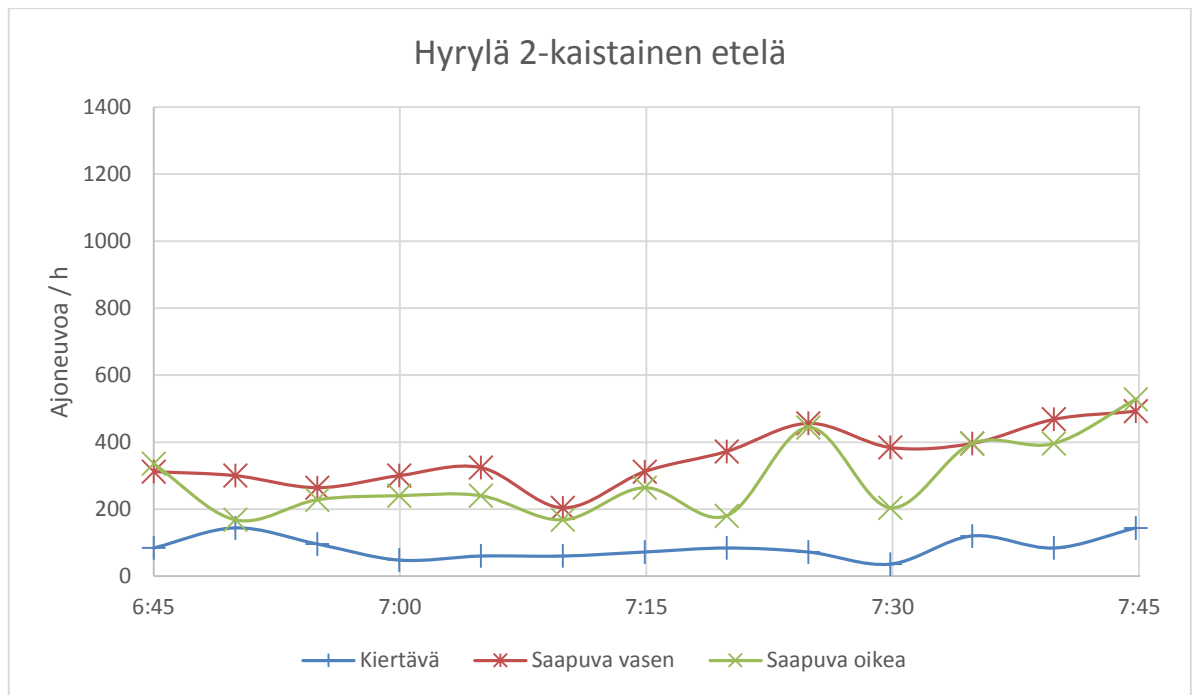
#### **4.1.2 Hyrylä eteläinen**

##### **Aamuruuhka**

Aamuruuhkan liikennemäärät on mitattu 6:45–7:50. Videotallenne lakkasi toimimasta purkuohjelmassa harmittavasti juuri ennen videon kello kahdeksaa, jolloin olisi voinut olla odotettavissa pieni piikki liikennemäärissä.

Hyrylän kaksikaistaisen kiertoliittymän eteläinen haara aamuruuhkassa oli kiertävän liikenteen osalta vähäliikenteisin (36–168 ajon/h), mutta raskaan liikenteen osuus oli poikkeuksellisen suuri, noin 30 % (liite 1, s. 1). Saapuvan liikenteen yhteenlaskettu määrä oli 370–900 ajon/h (kuva 24).



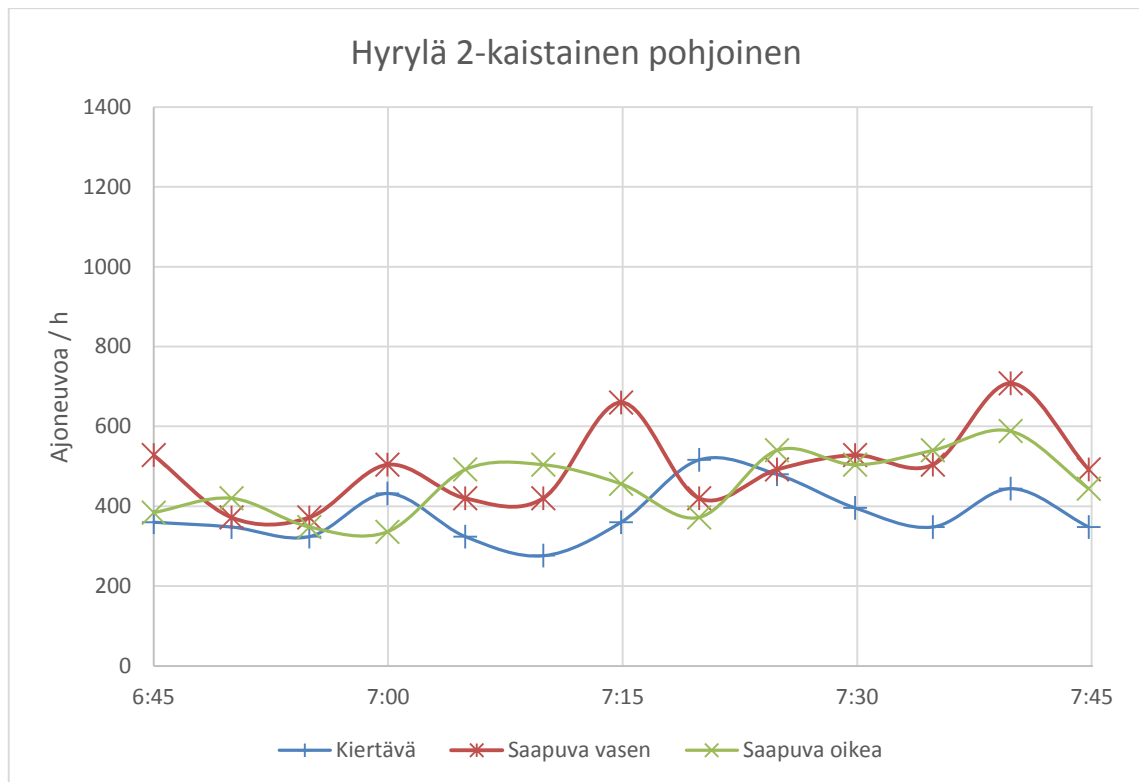


*Kuva 24 Liikennemäärä Hyrylän osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa etelän suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella aamulla 23.10.2014.*

Pohjoinen haara oli saapuvan liikenteen osalta Hyrylän eteläisen kiertoliittymän vilkasliikenteisin. Saapuvan liikenteen liikennemäärä oli 720–1296 ajon/h (kuva 25). Vilkkain aikajakso eli 1296 ajon/h oli kello 7:40–7:45, jolloin kiertävää liikennettä oli 444 ajon/h. Hiljaisin aikajakso oli 6:55–7:00, jolloin saapuvaa liikennettä oli 720 ajon/h ja kiertävää liikennettä 324 ajon/h. Melko suurista liikennemääristä huolimatta liikenne sujui täysin moitteettomasti koko tarkkailujakson ajan.

Aamuruuhkassa ei voitu olla huomaamatta pohjoisessa tulosuunnassa kauempana olevien liikennevalojen vaikutusta liikennevirtaan. Ajoneuvot saapuivat kiertoliittymään ryppäissä, ja tulosuunnan tyhjenemisen jälkeen oli noin 20–30 sekunnin tauko. Valo-ohjauksisista liittymistä ei tullut juurikaan ajoneuvoja sivusuunnilta.

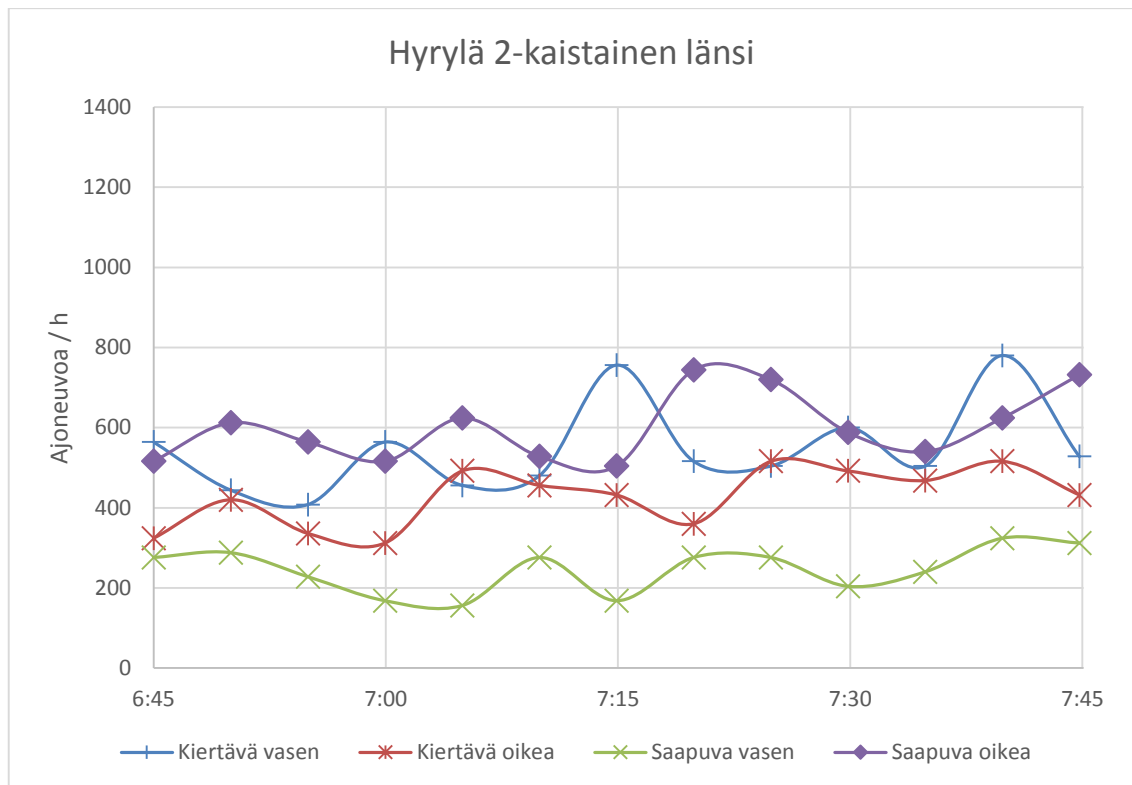




Kuva 25 Liikennemäärä Hyrylän osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa pohjoisen suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella aamulla 23.10.2014.

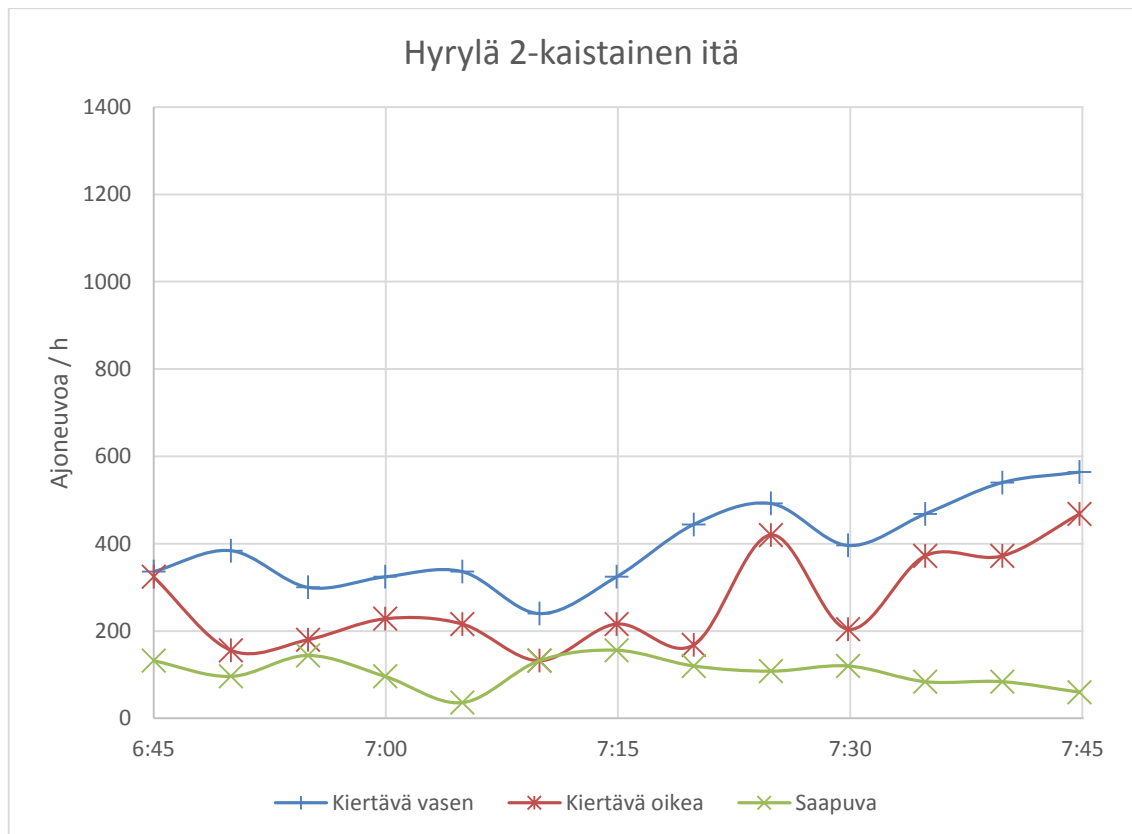
Hyrylän läntinen haara oli yhteenlaskettujen (saapuva + kiertävä) liikennemäärien osalta aamuruuhkan vilkkain. Saapuvan liikenteen liikennemäärät olivat 672–1044 ajon/h ja kiertävän liikenteen 744–1296 ajon/h (kuva 26). Vilkkain aikajakso saapuvan liikenteen osalta oli kello 7:45–7:50, jolloin saapuvan oikean kaistan liikennemäärä oli 732 ajon/h ja vasemman kaistan 312 ajon/h. Saman aikajakson aikana kiertävää liikennettä oli 960 ajon/h. Kiertävän liikenteen vilkkain aikajakso oli kello 7:40–7:45, jolloin sisemmän kiertävän kaistan liikennemäärä oli 780 ajon/h ja ulomman kaistan 516 ajon/h. Tämän aikajakson aikana saapuvan liikenteen määrä oli 948 ajon/h.

Aikajakson 7:40–7:45 yhteenlaskettu kiertävän ja saapuvan liikenteen määrä oli myös suurin, 2244 ajon/h. Läntinen haara oli melko vilkasliikenteinen koko tarkkailujakson ajan, mutta ei ruuhkautunut kertaakaan. Jatkuvaa jonoa ei syntynyt kuin hetkiksi. Tarkkailujakson pienin yhteenlaskettu liikennemäärä oli 6:55–7:00, jolloin haaran läpi ajanut liikennemäärä oli 1536 ajon/h.



Kuva 26 Liikennemäärä Hyrylän osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa lännen suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella aamulla 23.10.2014.

Hyrylän itäinen haara (kuva 27) oli saapuvan liikenteen osalta aamuruuhkan hiljaisin. Ajoneuvoja saapui liittymään enimmillään 156 ajon/h, ja molempien kiertävien kaistojen yhteenlaskettu liikennemäärä oli enimmillään 1032 ajon/h.

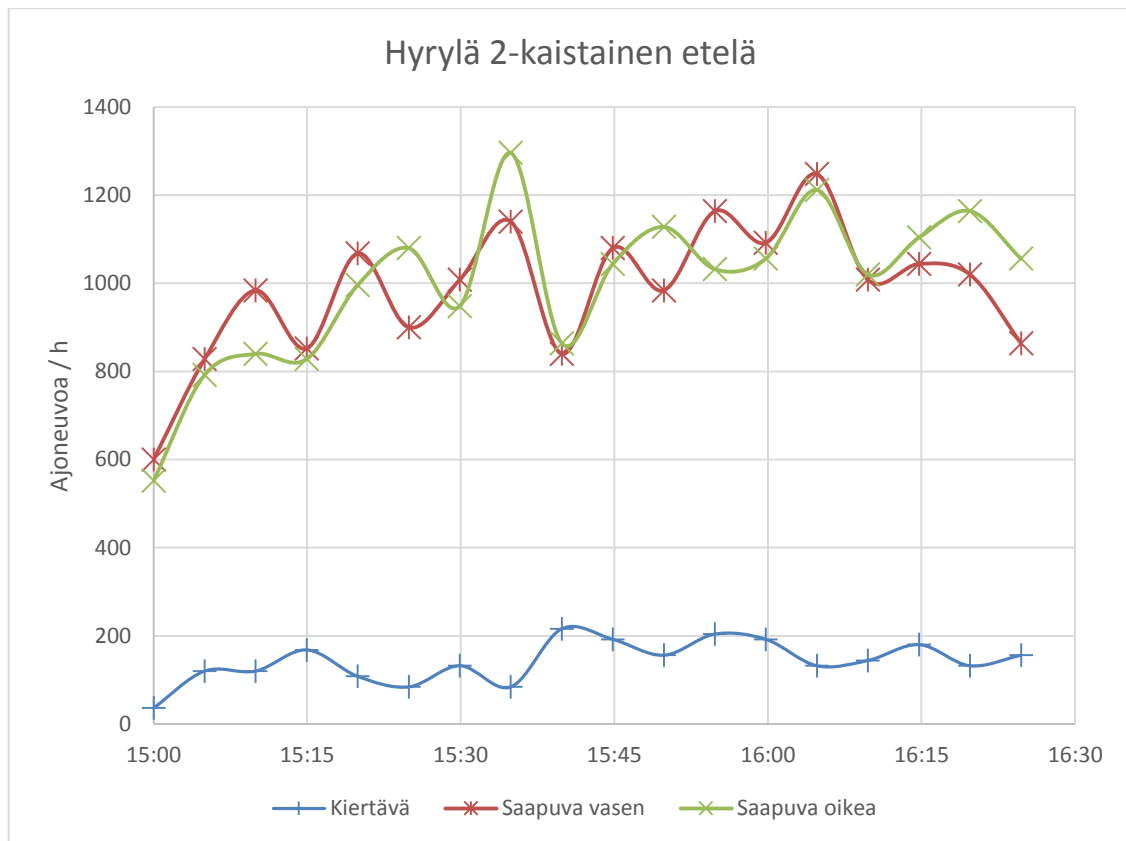


Kuva 27 Liikennemäärä Hyrylän osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa idän suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella aamulla 23.10.2014.

## Iltaruuhka

Hyrylän iltaruuhkan aikaan länteen poistuva ajokaista oli ajoittain tukossa noin kello 16:02 alkaen, mikä aiheutti sekä pohjoisen haaran kiertotilan että itäisen haaran kiertotilan sisemmän kaistan tukkeutumista. Tukkeutumisen aiheutti noin 1,4 kilometrin päässä sijaitsevasta kiertoliittymästä asti muodostunut jono.

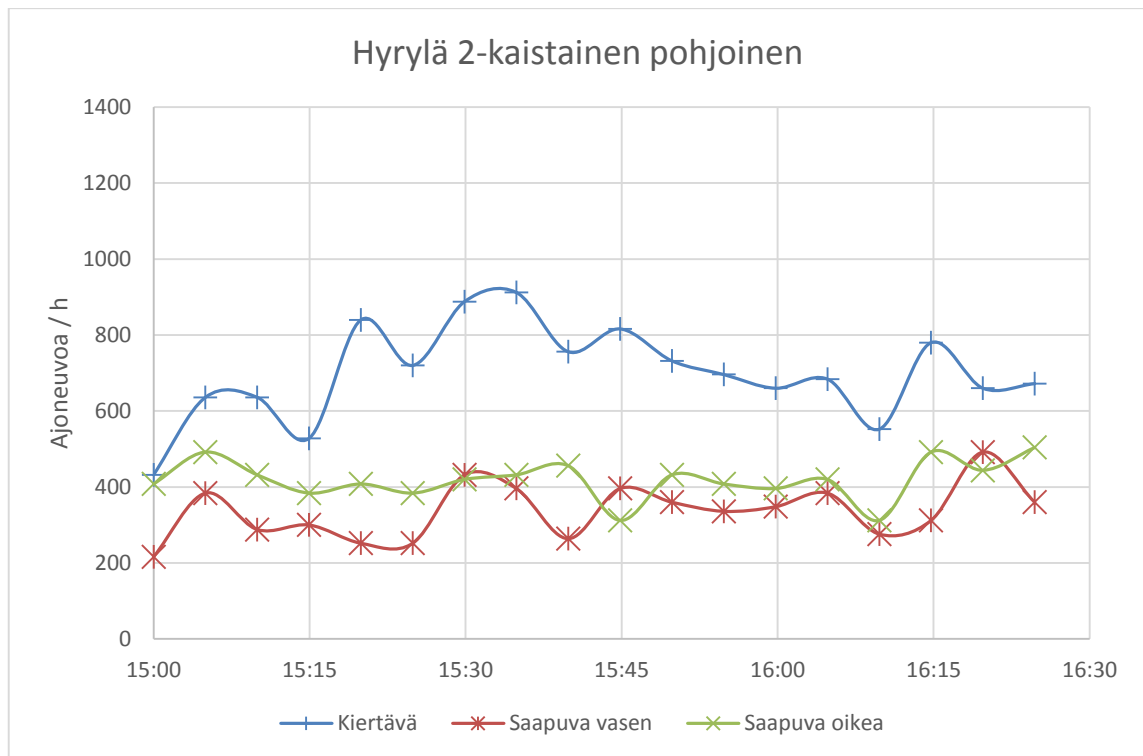
Iltaruuhkan videokuvausten aikana (15:00–16:30) eteläisen haaran saapuvan liikenteen määrä oli tarkkailujakson suurin (kuva 28). Liikennemäärä oli 1152–2460 ajon/h. Huippujakso (2460 ajon/h) oli kello 16:05–16:10, jolloin kiertävää liikennettä oli 132 ajon/h. Kyseistä aikajaksoa edeltävä aikajakso oli ainut, jolloin lännen suuntaan poistuvan haaran tukkeutuminen vaikutti myös hetkellisesti eteläisen haaran vasemman kaistan toimivuuteen. Suurista liikennemääristä huolimatta eteläinen haara ei ruuhkautunut varsinaisesti kertaakaan, mutta tähän syynä voivat olla myös lukuisat liikennevalot ennen liittymää.



Kuva 28 Liikennemäärä Hyrylän osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa etelän suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella ilta-päivällä 23.10.2014.

Pohjoisen haaran saapuvan liikenteen molempien kaistojen yhteenlaskettu määrä oli 588–936 ajon/h ja kiertävä liikenne 432–912 ajon/h (kuva 29). Saapuva liikenne oli suurimmillaan 16:20–16:25 ja kiertävä liikenne 15:35–15:40.

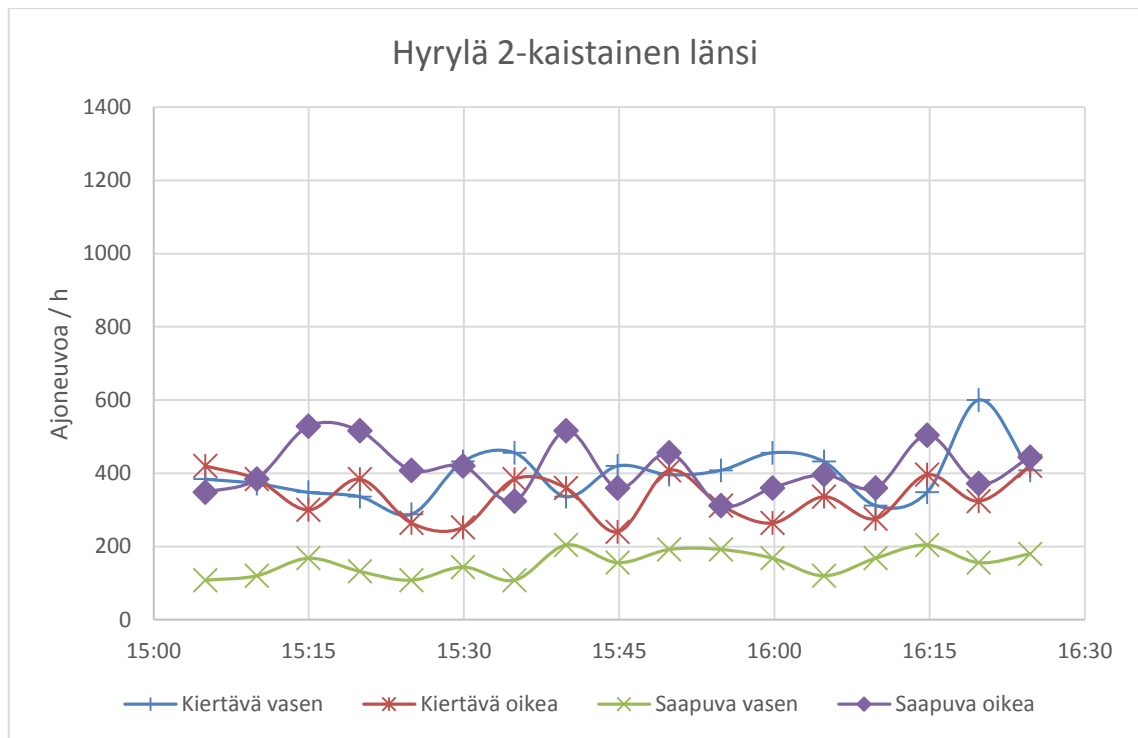
Pohjoisen haaran välityskykyyn vaikutti ajoittainen kiertotilan tukkeutuminen. Kello 16:00 alkaen kaikissa 5 min aikajaksoissa kiertotila oli ainakin kerran tukkeutunut. Kiertotilassa olevat ajoneuvot jonottivat kuitenkin usein jättäen välejä siten, että ainakin vasen saapuva kaista pääsi purkautumaan.



Kuva 29 Liikennemäärä Hyrylän osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa pohjoisen suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella iltapäivällä 23.10.2014.

Läntisen haaran (kuva 30) molempien kaistojen yhteenlaskettu saapuvan liikenteen määrä oli 432–720 ajon/h ja kiertävän liikenteen 552–924 ajon/h. Vilkkaimmillaan saapuva liikenne oli 15:40–15:45 ja kiertävä liikenne 16:20–16:25. Haaran kaikki liikennemäärät yhteenlaskettuna viimeiset kolme aikajaksoa olivat vilkasliikenteisimmät, 1452 ajon/h.

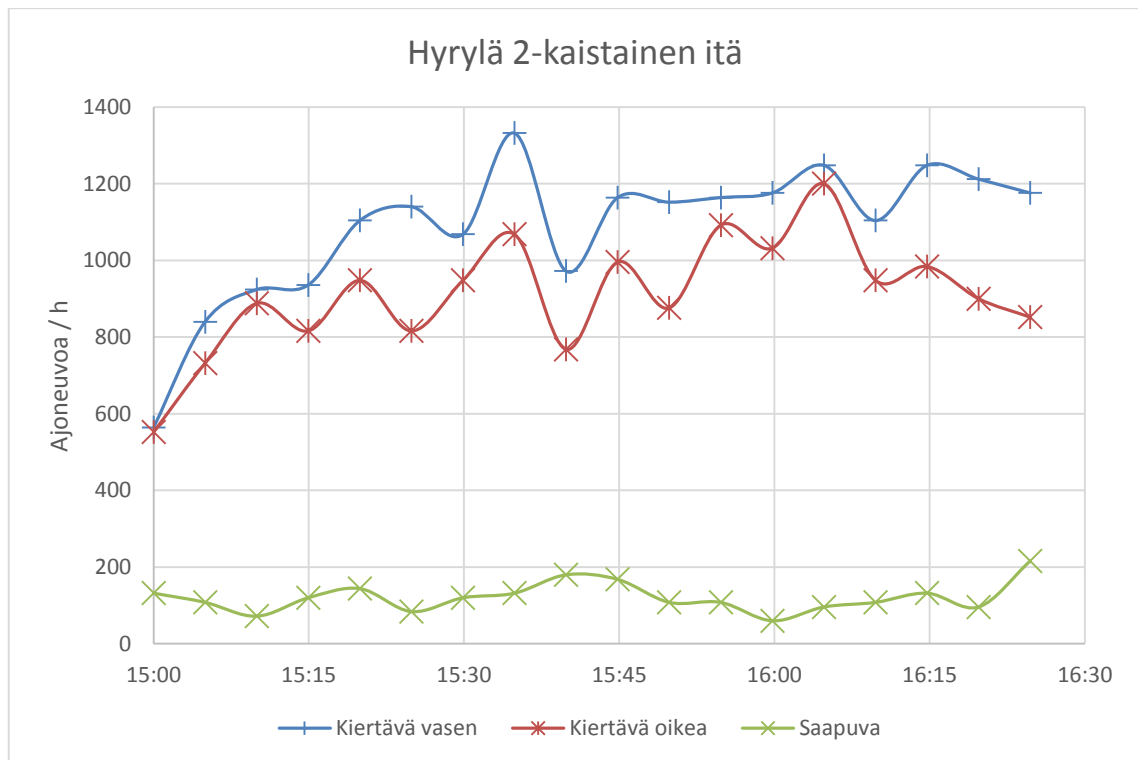
Kiertävän sisemmän kaistan liikennemäärässä oli pieni piikki 16:20–16:25, mikä saattoi johtua edellisen haaran kiertotilan tukkeutumisesta. Ajoneuvot pääsivät paremmin edellisen haaran vasemmalta saapuvalta kaistalta jatkamaan matkaa kiertotilaan, koska oikealle kääntyvä/suoraan menevä kaista oli tukkeutunut.



Kuva 30 Liikennemäärä Hyrylän osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa lännen suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella iltapäivällä 23.10.2014.

Hyrylän kiertoliittymän itäisen haaran kiertävä liikenne oli 1116–2448 ajon/h (kuva 31), olleen näin vilkkain kiertotila näissä mittauksissa. Vaikka kiertävää liikennettä oli paljon, saapuvan liikenteen määrä oli niin vähäistä, ettei jonoja juurikaan syntynyt. Vilkkain aikajakso oli saapuvan liikenteen osalta 16:25–16:30 (216 ajon/h), kiertävän liikenteen osalta 16:05–16:10 (2448 ajon/h) ja yhteenlasketun liikennemäärän osalta sama aikajakso 16:05–16:10 (2544 ajon/h).

Kiertotilan sisempi kaista oli hetkellisesti tukkeutunut, mikä vaikutti välityskykyyn alentavasti hetkittäin. Kyseinen kaista oli koko tarkkailujakson ajan enemmän käytössä kuin kiertotilan ulompi kaista eron ollessa 12–324 ajon/h.



Kuva 31 Liikennemäärä Hyrylän osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksossa idän suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella ilta-päivällä 23.10.2014.

### Ajoneuvoluokka- ja kaistajakaumat

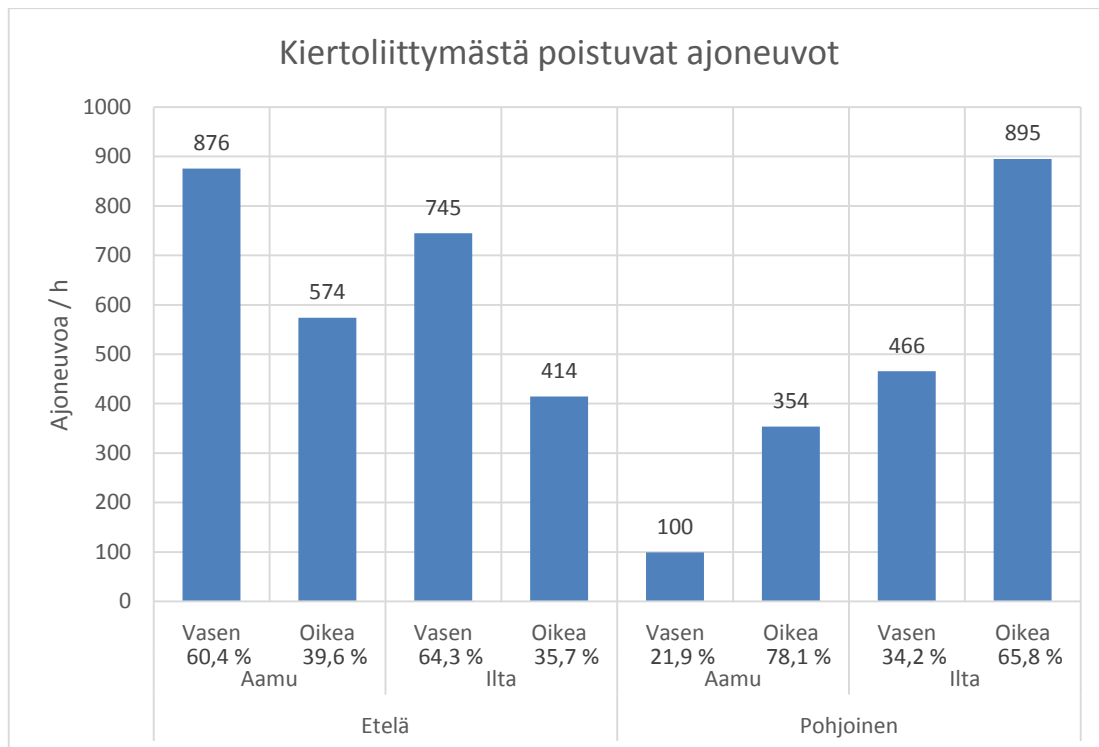
Liitteessä 1 sivuilla 1 ja 2 on taulukoituna Hyrylän eteläisen kiertoliittymän kaistakohtaiset liikennemäärät ajoneuvoluokittain.

### Poistuva liikenne

Poistuvan liikenteen kaistajakaumaa tutkittiin myös aamu- ja iltaruuhkien aikaan, mutta eripituisilla aikajaksoilla kuin liikennemääriä. Aamuruuhkan tarkkailujakso oli 6:45–9:35 ja iltaruuhkan 15:05–16:30. Etelän suuntaan suurin poistuva liikennemäärä 2160 ajon/h oli aikajaksolla 6:45–6:50. Pohjoisen suuntaan liikennemäärä oli suurimmillaan kello 16:05–16:10, 1764 ajon/h.

Kuvassa 32 on esitetty, miten poistuva liikenne jakautui kaistoittain liittymästä etelään ja pohjoiseen poistuvilla haaroilla.

Aamuruuhkassa raskaasta liikenteestä vasenta poistumiskaistaa käytti eteläisessä haarassa 85,7 % ja pohjoisessa haarassa 29,5 %. Iltaruuhkassa poistuvaa vasenta kaistaa käytti eteläisessä haarassa 78,3 % ja pohjoisessa haarassa 34,3 % raskaasta liikenteestä.



*Kuva 32 Hyrylän 2-kaistaisesta kiertoliittymästä pohjoiseen ja etelään poistuvien ajoneuvojen kaistajakauma aamulla ja illalla 23.10.2014.*

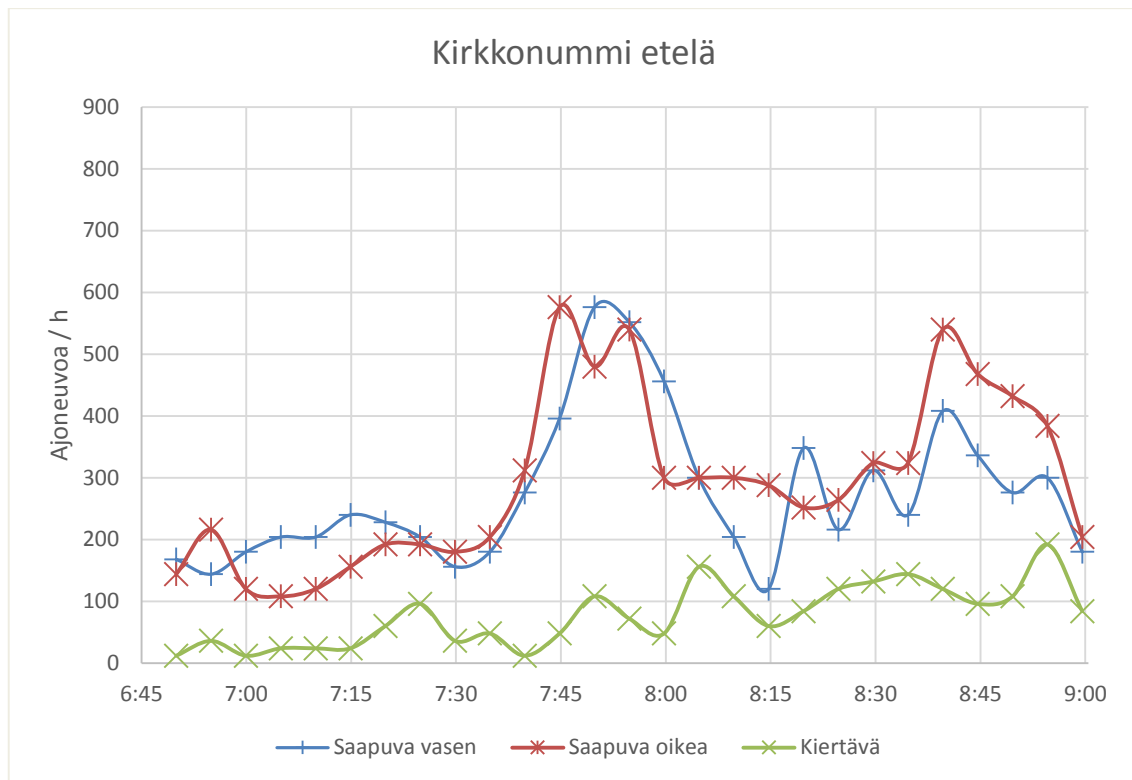
### 4.1.3 Kirkkonummi

#### Aamuruuhka

Kirkkonummen kiertoliittymässä aamuruuhkan tarkkailujakso oli eteläisen sekä itäisen haaran osalta 6:50–9:00 ja pohjoisen sekä läntisen haaran osalta 6:50–8:05, johtuen datankeruuongelmista.

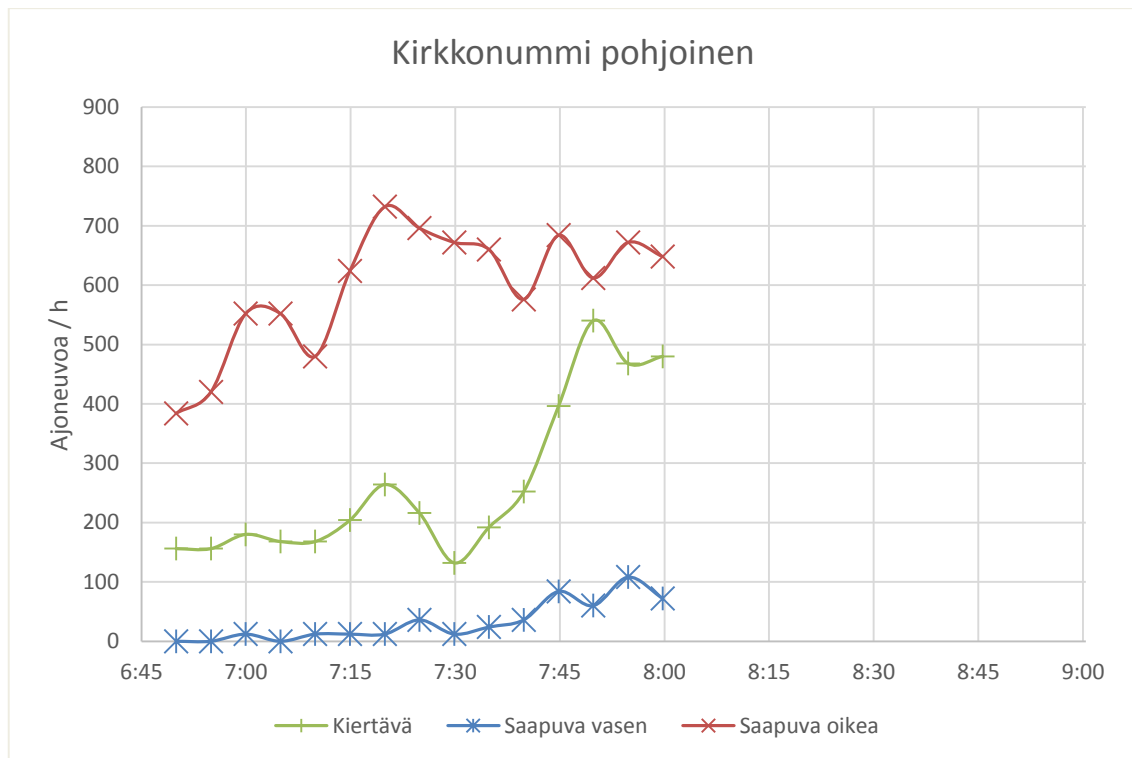
Aamuruuhkan vilkkain viiden minuutin aikajakso saapuvan liikenteen osalta löytyi eteläisen haaran mittaushavainnoista (kuva 33). Saapuvan liikenteen molempien kaistojen yhteenlaskettu määrä oli 300–1092 ajon/h. Vilkkain aikajakso oli 7:55–8:00. Kiertävä liikenne oli melko vähäistä kyseisessä haarassa vaihdellen välillä 12–192 ajon/h. Raskaan liikenteen osuus oli suurin (15,2 %), johtuen pääosin läntisestä haarasta pohjoiseen ajavien bussien määrästä.





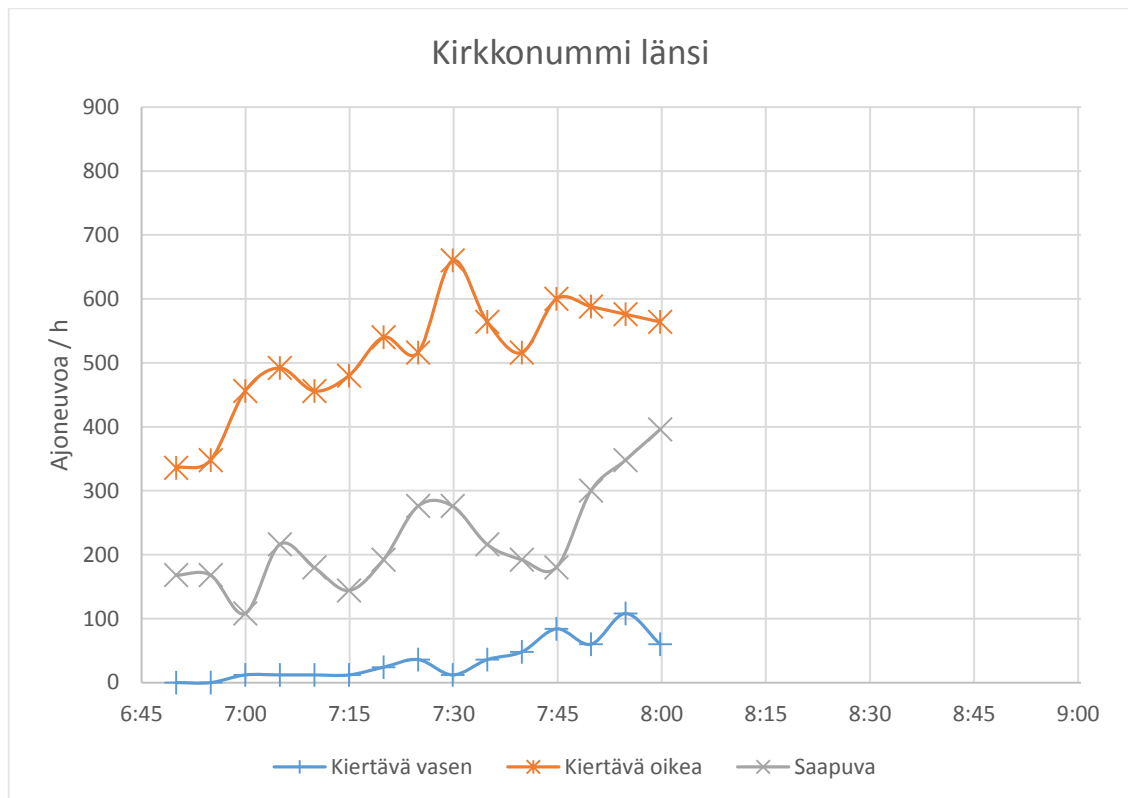
Kuva 33 Liikennemäärä Kirkkonummen osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa etelän suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella aamulla 18.9.2014.

Kiertoliittymän pohjoisen haaran oikean kaistan saapuvan liikenteen määrä vaihteli välillä 384–732 ajon/h (kuva 34). Saapuvaa liikennettä oli koko ajan kohtalaisesti, joten koko tarkkailujakson perusteella laskettu saapuva liikennemäärä oli tässä haarassa aamuruuhkan suurin. Vasemman kaistan liikenne oli melko vähäistä ollen suurimmillaan 108 ajon/h ja pienimmillään 0 ajon/h. Kyseisen haaran videota purettaessa tehtiin huomio, että kiertoliittymää käytettiin jossain määrin myös u-käännösten tekemiseen. Kiertävä liikenne oli 132–540 ajon/h ja suurimmillaan se oli 7:50–7:55. Etelän suuntaan poistuvan liikenteen havainnoista voitiin tehdä johtopäätös, että kello 8:05 jälkeen liikennemäärät eivät enää kasvaneet.



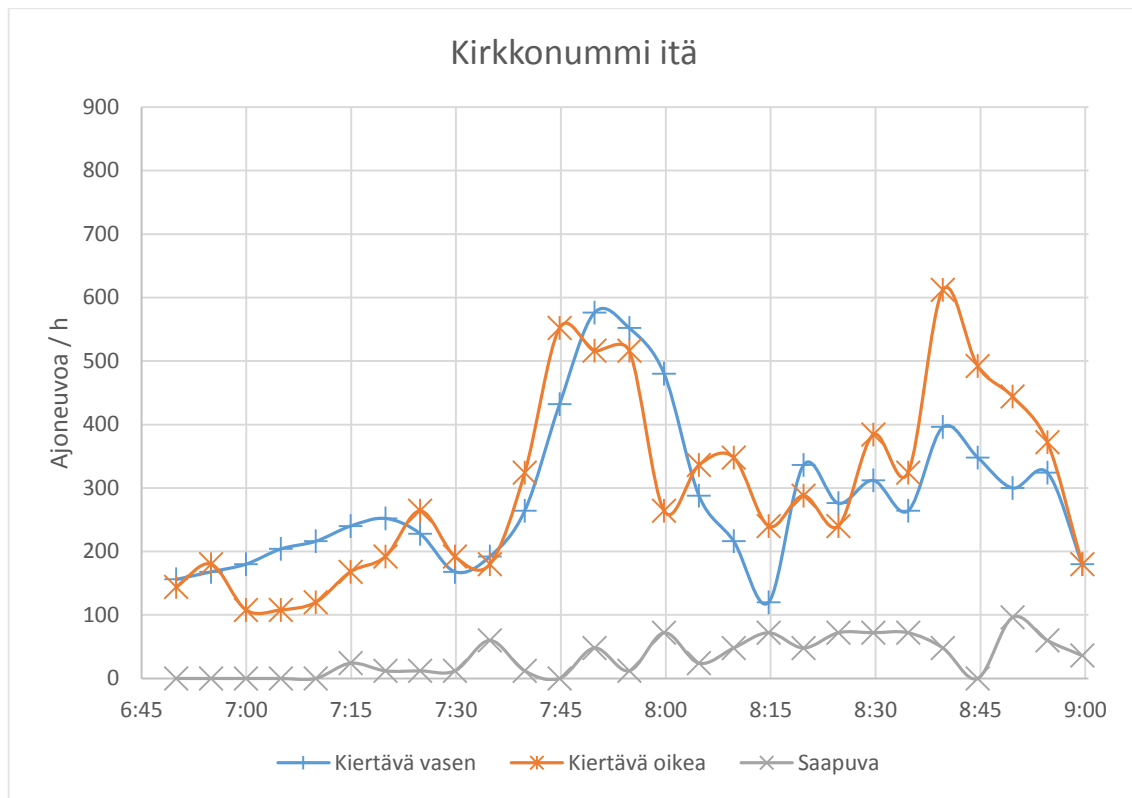
*Kuva 34 Liikennemäärä Kirkkonummen osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa pohjoisen suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella aamulla 18.9.2014.*

Läntisen haaran kiertävää sisempää kaistaa käytettiin melko vähän (kuva 35). Liikennemäärät olivat vähäisiä. Kun molempien kiertävien kaistojen liikennemäärät lasketaan yhteen, niin oli kiertävä liikenne 336–684 ajon/h. Saapuvasta liikenteestä 9,7 % oli raskasta liikennettä, joka koostui pääasiassa busseista, ja liikennemäärä vaihteli 108–396 ajon/h.



*Kuva 35 Liikennemäärä Kirkkonummen osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa lännen suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella aamulla 18.9.2014.*

Itäisen haaran saapuva liikenne oli liittymän pienin ja kiertävältä liikenteeltä suurin (kuva 36). Saapuva liikenne oli suurimmillaan 96 ajon/h ja molempien kiertävien kaistojen yhteenlaskettu liikennemäärä 288–1092 ajon/h.

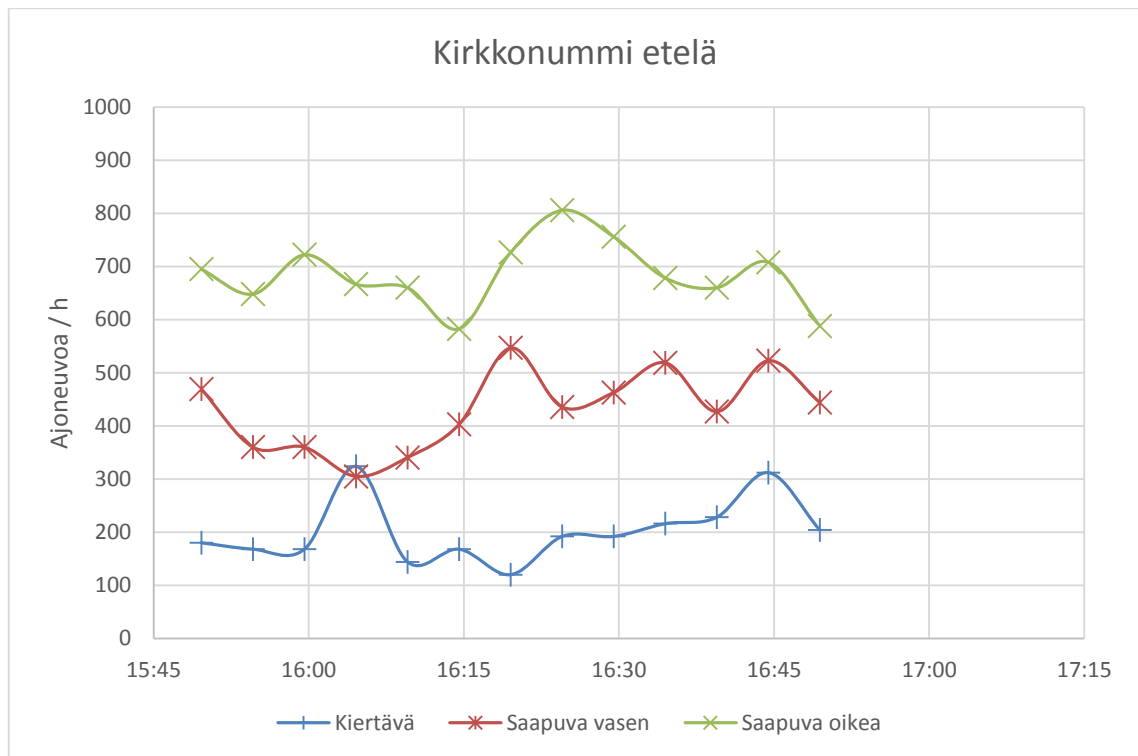


Kuva 36 Liikennemäärä Kirkkonummen osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa idän suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella aamulla 18.9.2014.

## Iltaruuhka

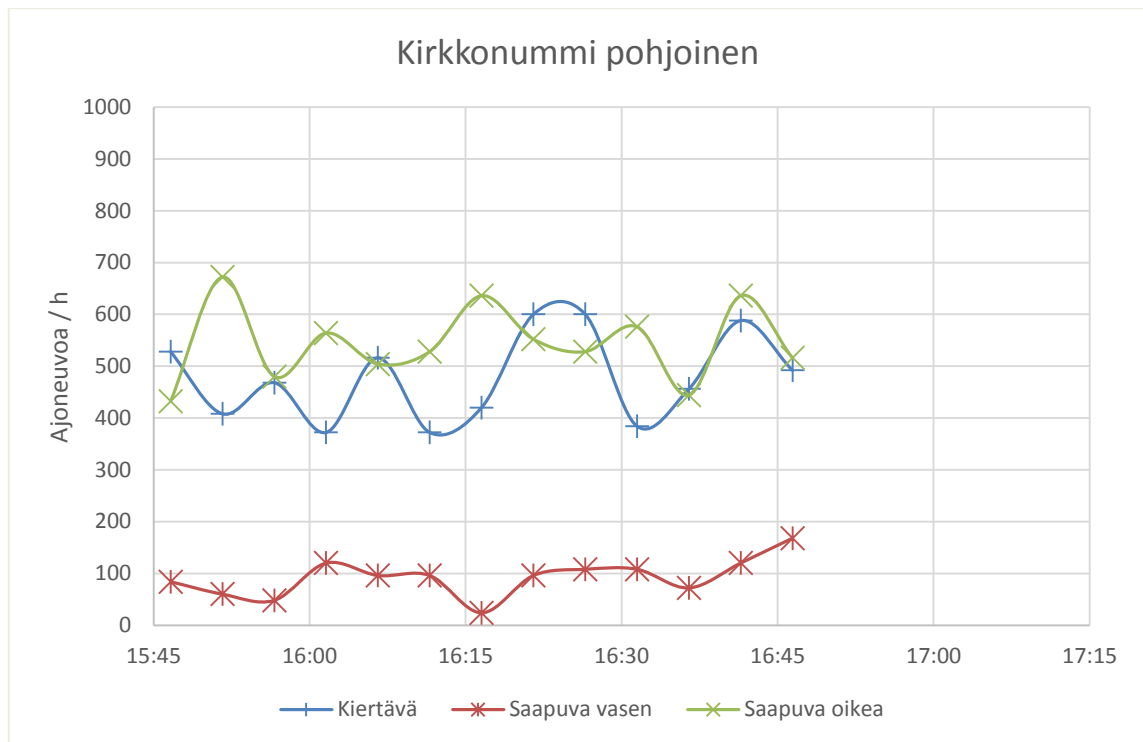
Kirkkonummen kiertoliittymän iltaruuhkan kaikkien haarojen tarkkailujaksot olivat eripituisia: etelä 15:50–16:55, pohjoinen 15:47–16:52, länsi 15:50–17:10 ja itä 15:48–16:23. Datankeruuongelmien lisäksi tulosten käsittelyä hankaloitti se, että itäisen haaran kiertotila oli lähes jokaisella viiden minuutin aikajaksolla vähintään kerran tukossa. Pohjoiseen poistuttaessa seuraavan liittymän liikennevalot aiheuttivat jonon poistuvalla oikealle kaistalle.

Eteläinen haara oli iltaruuhkassa(kin) saapuvan liikenteen osalta vilkkain (kuva 37). Vaikka kiertotilan liikenne oli useasti täysin pysähtynyt, ei mainittavia jonoja ehtinyt kuitenkaan muodostua. Molempien kaistojen yhteenlaskettu saapuvan liikenteen määrä oli 948–1260 ajon/h ja kiertävä liikenne 120–324 ajon/h. 16:20–16:25 saapuva liikenne oli suurimmillaan. Kyseisellä aikajaksolla kiertotila ei ollut kertaakaan tukossa. 16:45–16:50 oli koko haaran yhteenlaskettu liikennemäärä suurimmillaan ollen 1536 ajon/h.



*Kuva 37 Liikennemäärä Kirkkonummen osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa etelän suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella iltapäivällä 1.9.2014.*

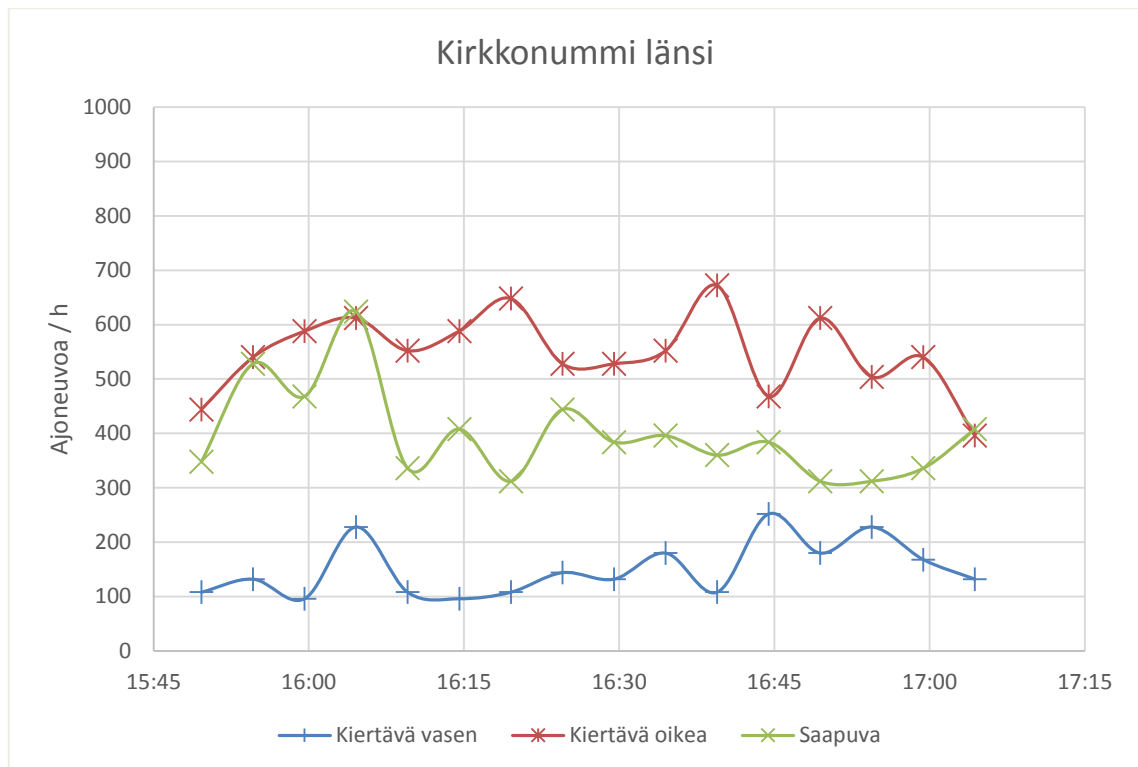
Pohjoisen haaran datankäsittely ei vaikeutunut kiertotilan tukkeutumisen vuoksi. Saapuva liikenne oli suurimmillaan 16:42–16:47 756 ajon/h (molemmat kaistat yhteenlaskettuna), jolloin vasenta kaistaa käytti 120 ajon/h (kuva 38). Tällöin kiertävää liikennettä oli 588 ajon/h. Vasenta kaistaa käytettiin suhteessa enemmän kuin aamuruuhkassa.



Kuva 38 Liikennemäärä Kirkkonummen osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa pohjoisen suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella iltapäivällä 1.9.2014.

Läntinen haara oli ainut, johon muodostui edes kerran jatkuva jono koko viiden minuutin aikajakson ajaksi. Tämä tapahtui 16:05–16:10. Kuvasta 39 huomataan, että saapuvan ja vasemman kiertävän kaistan liikenne olivat tällöin hieman vilkkaampia kuin tarkkailujaksolla keskimäärin. Kyseisenä aikajaksona saapuva liikennemäärä oli 624 ajon/h ja kiertävän liikenteen molempien kaistojen yhteenlaskettu määrä 840 ajon/h. Liikennemäärät olivat koko tarkkailujakson aikana saapuvan liikenteen osalta 312–624 ajon/h ja kiertävän liikenteen (molemmat kaistat) 528–840 ajon/h.

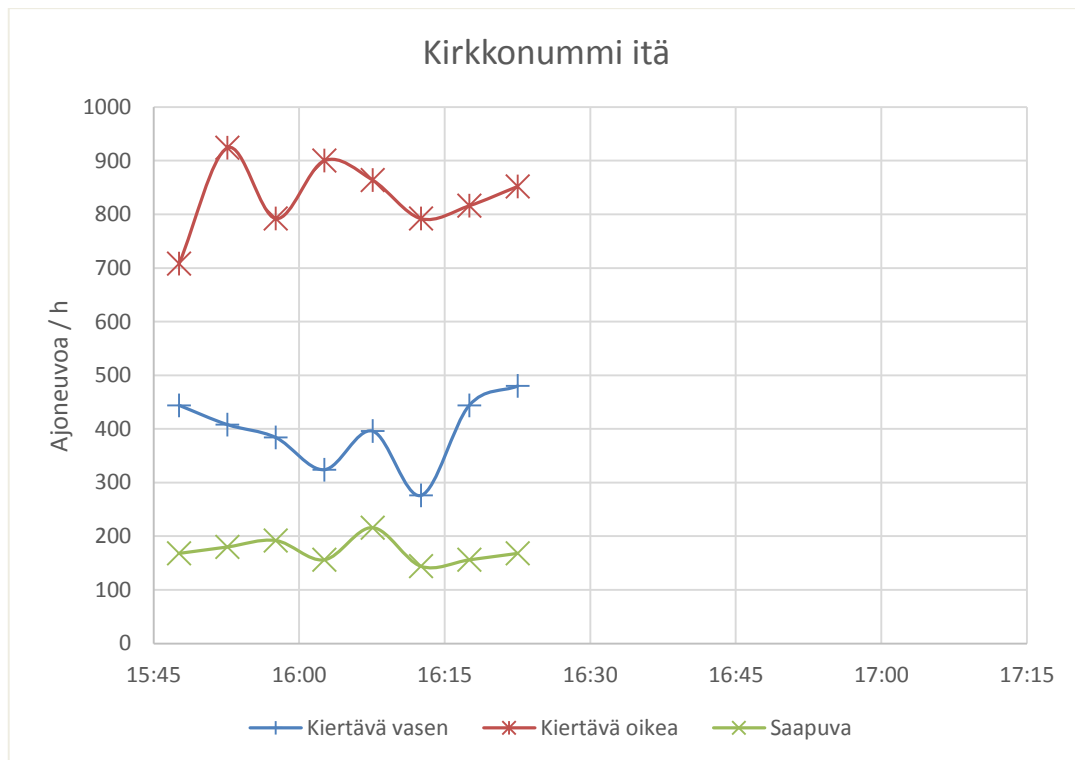
Huomioitavaa on myös, että toisin kuin aamuruuhkassa läntisen haaran sisemmällä kiertävällä kaistalla oli suuremmat liikennemäärät kuin pohjoisen haaran saapuvalla vasemmalla kaistalla. Tämä viittaa siihen, että esimerkiksi idästä vasemmalle (etelään) kääntyvät valitsivat sisemmän kaistan joko tahallaan tai vahingossa. Iltaruuhkan kuvauspäivänä kiertoliittymän tiemerkinnot olivat erittäin kuluneet ja kaistaviivoja ei näkynyt juuri lainkaan.



Kuva 39 Liikennemäärä Kirkkonummen osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa lännen suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella iltapäivällä 1.9.2014.

Itäinen haara oli iltaruuhkan vilkasliikenteisin kiertävän liikenteen osalta liikennemääriltään 1068–1332 ajon/h. Kuvasta 40 huomataan, että ulompaa kiertävää kaistaa suosittiin, vaikka se olikin tukkeutunut useasti. Saapuva liikenne oli suurimmillaan 16:08–16:13 ja koko tarkailujakson aikana 144–216 ajon/h.

Kyseisen haaran datan käsittelyä hankaloitti se, että kiertävä liikenne ei näkynyt videokuvassa. Kaistajakauma on siis arvio eteläisen haaran saapuvan ja kiertävän liikenteen sekä itäisestä haarasta poistuvan liikenteen perusteella. Näiden tietojen perusteella tehdyt arviot kaistajakaumasta ovat kuitenkin melko tarkkoja ja tulosten paikkansapitävyys tarkistettiin pohjoisen haaran kiertävän liikenteen sekä poistuvan liikenteen kaistajakauman perusteella.



Kuva 40 Liikennemäärä Kirkkonummen osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa idän suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella iltapäivällä 1.9.2014.

### Ajoneuvoluokka- ja kaistajakaumat

Liitteessä 1 sivuilla 3 ja 4 on taulukoituna Kirkkonummen kiertoliittymän kaistakohtaiset liikennemäärät ajoneuvoluokittain.

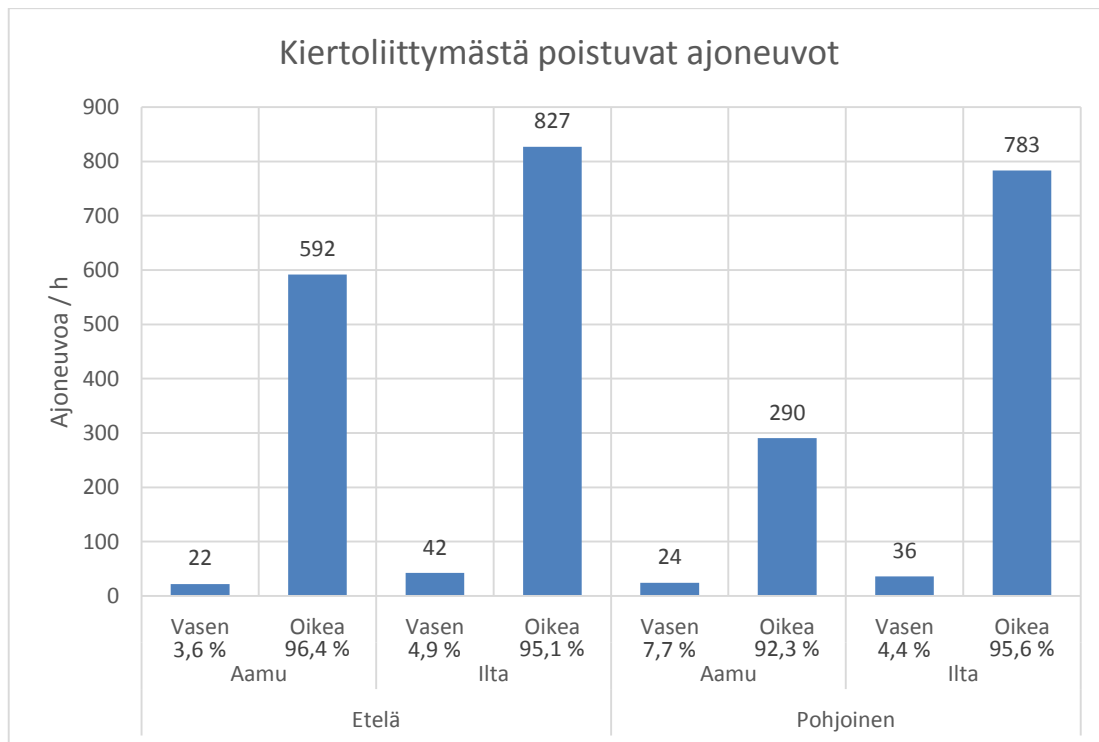
### Poistuva liikenne

Kirkkonummen kiertoliittymästä poistuvaa liikennettä on havainnollistettu kuvassa 41. Tarkkailujaksot olivat aamuruuhkassa eteläisen haaran osalta kello 6:55–9:10 ja pohjoisen haaran osalta 6:30–6:47 sekä 6:50–9:10. Iltaruuhkassa poistuvan liikenteen kaistajakauma selvitettiin kello 15:50–17:35 eteläisessä haarassa ja 15:47–17:00 pohjoisessa haarassa.

Kirkkonummen liittymässä etelän suuntaan poistuttaessa vasen kaista päättyy 150 metriä liittymän jälkeen. Pohjoiseen poistuttaessa vasemmalta kaistalta käännetään 170 metriä liittymän jälkeen keskustan palveluihin.

Tuloksista ilmenee, että oikeaa kaistaa käytettiin huomattavasti enemmän. Ainoastaan aamuruuhkassa pohjoiseen poistuvien ajoneuvojen osalta vasemman kaistan käyttö ylitti 5 %.





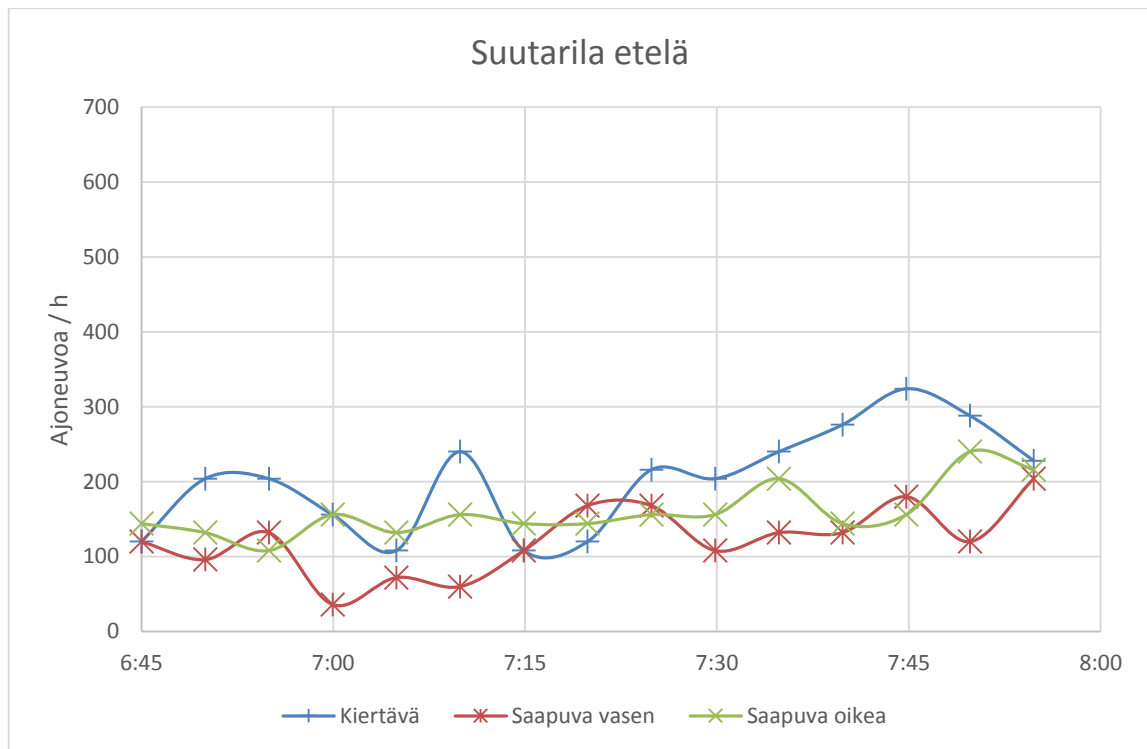
*Kuva 41 Kirkkonummen 2-kaistaisesta kiertoliittymästä pohjoiseen ja etelään poistuvien ajoneuvojen kaistajakauma aamulla 18.9. ja illalla 1.9.2014.*

#### 4.1.4 Suutarila

##### Aamuruuhka

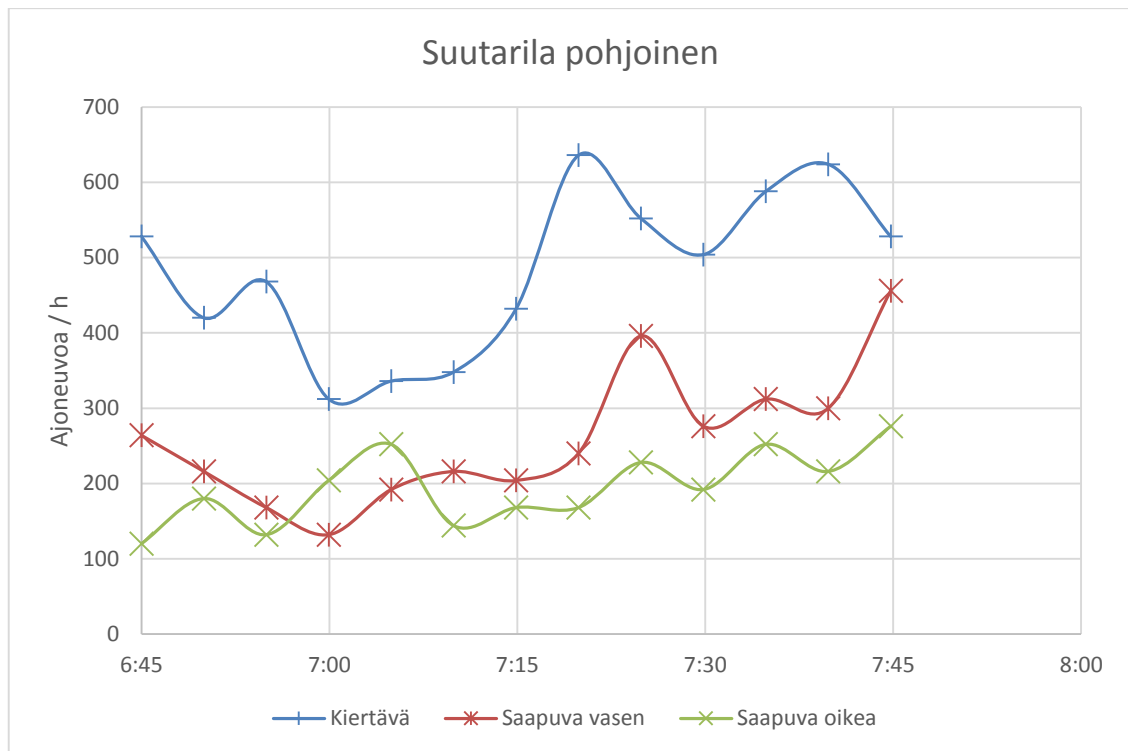
Suutarilan aamuruuhkaa tutkittiin 6:45–8:00 eteläisen ja läntisen haaran osalta, ja 6:45–7:50 pohjoisen ja itäisen haaran osalta.

Aamuruuhkan vähäliikenteisin haara oli etelän suunnasta saapuva haara (kuva 42). Kiertävän liikenteen määrä oli 108–324 ajon/h ja saapuvan liikenteen määrä oikealla kaistalla 108–240 ajon/h ja vasemmalla kaistalla 36–168 ajon/h. Vasemmalta saapuvalla kaistalta saa kääntyä vain vasemmalle, ja oikealta kaistalta pääsee vain suoraan tai oikealle.



*Kuva 42 Liikennemäärä Suutarilan osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa etelän suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella aamulla 2.10.2014.*

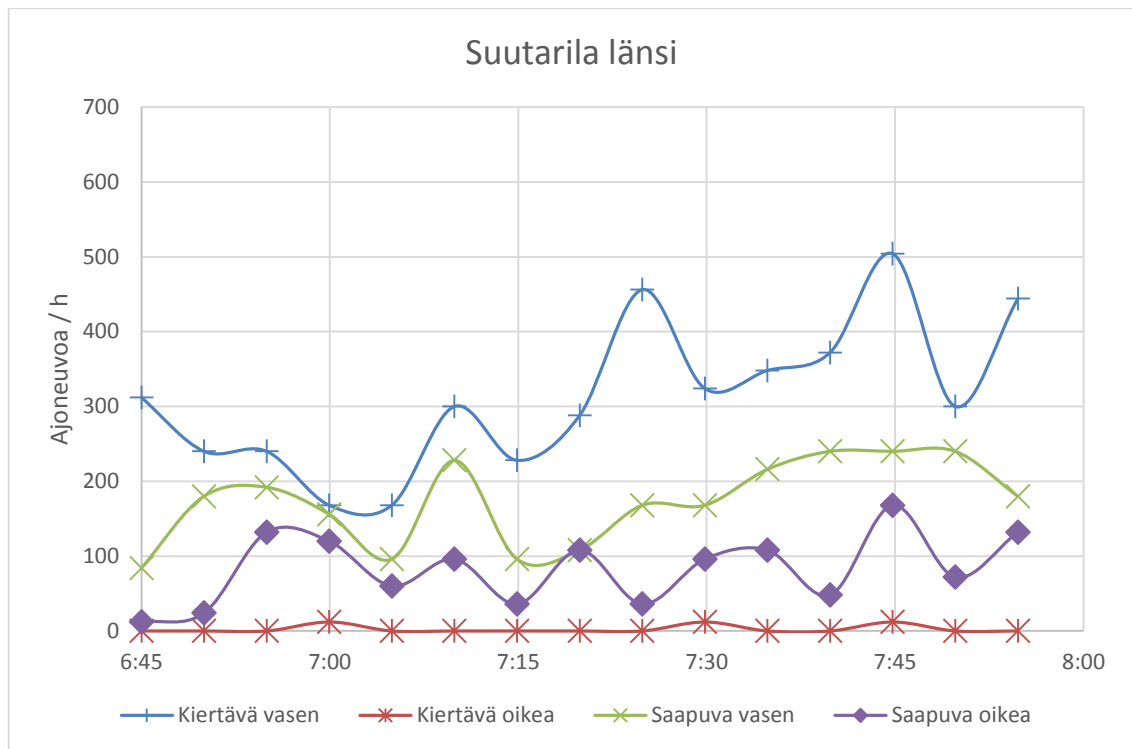
Suutarilan kiertoliittymän pohjoinen haara (kuva 43) oli vilkasliikenteisin, mutta jonoutumista ei esiintynyt yhdelläkään tarkkailujaksolla. Kiertävä liikennemäärä oli 312–636 ajon/h. Vasemmalla kaistalla oli keskimäärin enemmän saapuvaa liikennettä, mutta kahden viiden minuutin aikajakson aikana oikean kaistan liikennemäärät olivat hieman suurempia. Oikean kaistan saapuva liikenne vaihteli 120–252 ajon/h ja vasemman kaistan 132–452 ajon/h. Koska viimeiset tulokset tästä haarasta saatiin kello 7:50, voi olla, että liikennemäärät olisivat vielä kasvaneet, mutta seuraavan haaran kiertävä liikenne oli huipussaan 7:45–7:50, joten saattaa olla, että myös pohjoisen haaran saapuva liikenne oli huipussaan silloin.



*Kuva 43 Liikennemäärä Suutarilan osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa pohjoisen suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella aamulla 2.10.2014.*

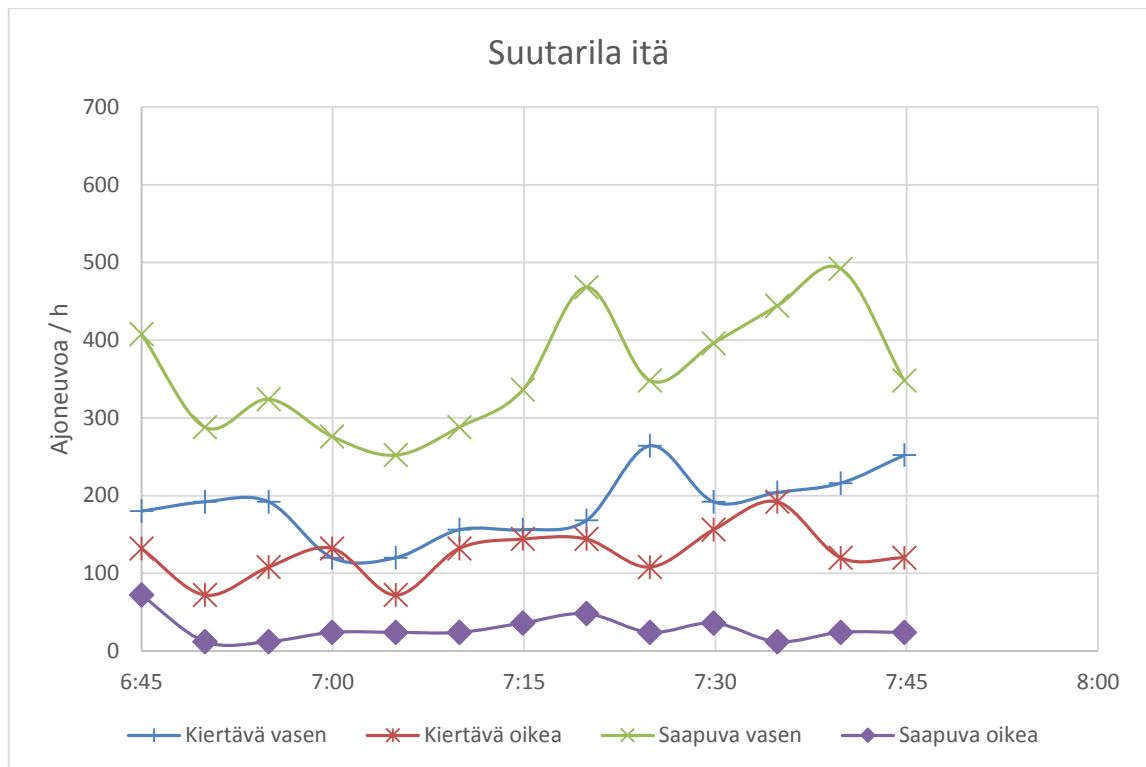
Läntisen haaran eri kaistojen liikennemäärät olivat keskenään hyvinkin erisuuruisia (kuva 44). Ulompaa kiertävää kaistaa käytti enimmillään 12 ajon/h, joka asettaa hieman kyseenalaiseksi koko kaistan tarkoituksen. Sisemmän kiertävän kaistan liikennemäärä oli tarkkailujaksolla 168–504 ajon/h. Saapuvaa oikeaa kaistaa tarkkailujaksolla käytti 12–168 ajon/h ja vasenta 104–240 ajon/h.

Vaikka molemmilta saapuvilta kaistoilta saa kääntyä oikealle, ainoastaan oikeaa kaistaa käytettiin siihen, vaikka etelän suuntaan poistuttaessa oikea kaista päättyykin 100 metriä liittymän jälkeen. Oikean kaistan käyttö vaikutti lisäävän ainakin silmämääräisesti tarkasteltuna kiertoliittymän liikenteen sujuvuutta.



*Kuva 44 Liikennemäärä Suutarilan osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa lännen suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella aamulla 2.10.2014.*

Suutarilan itäisen haaran (kuva 45) saapuvat liikennemäärät erosivat toisistaan paljon kaistojen kesken. Vasemman kaistan saapuva liikenne oli 252–492 ajon/h, kun taas oikean kaistan 12–72 ajon/h, jättäen oikean kaistan tarkoituksen hieman kyseenalaiseksi. Kiertävä liikenne oli jakautunut kaistojen kesken melko tasaisesti. Sisemmän kiertävän kaistan liikennemäärä oli 120–264 ajon/h ja ulomman kiertävän kaistan 72–192 ajon/h.

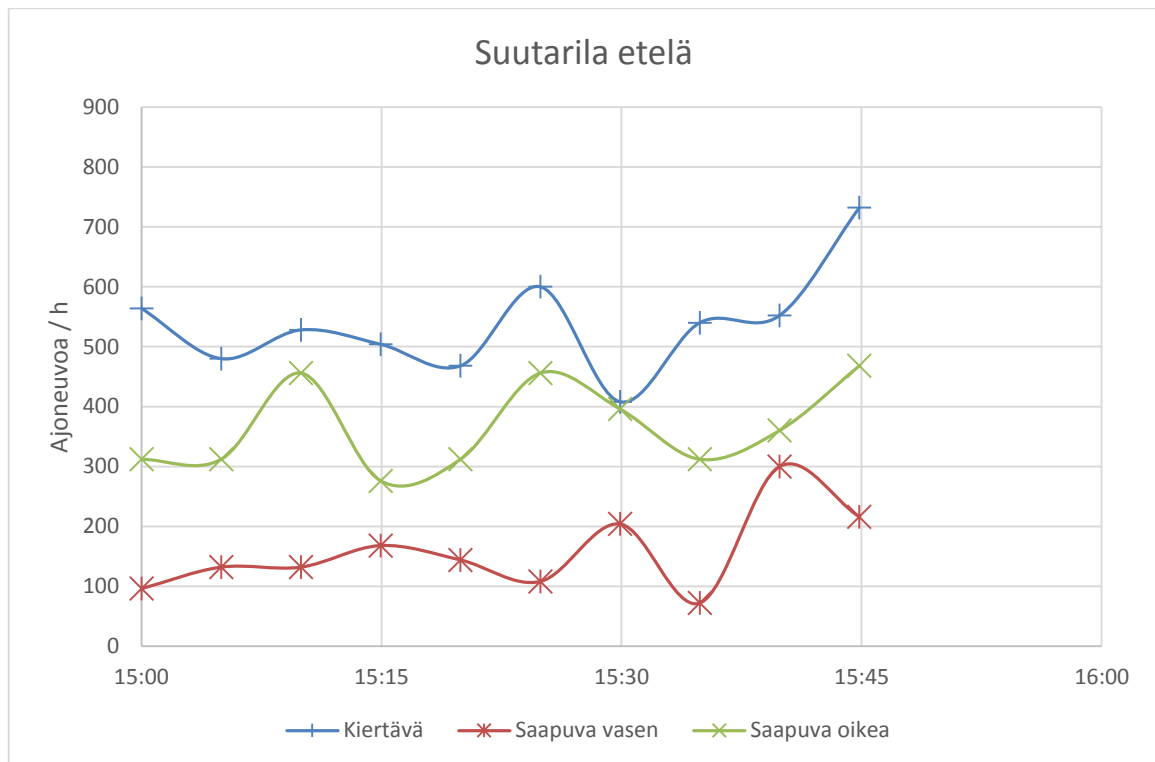


Kuva 45 Liikennemäärä Suutarilan osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa idän suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella aamulla 2.10.2014.

## Iltaruuhka

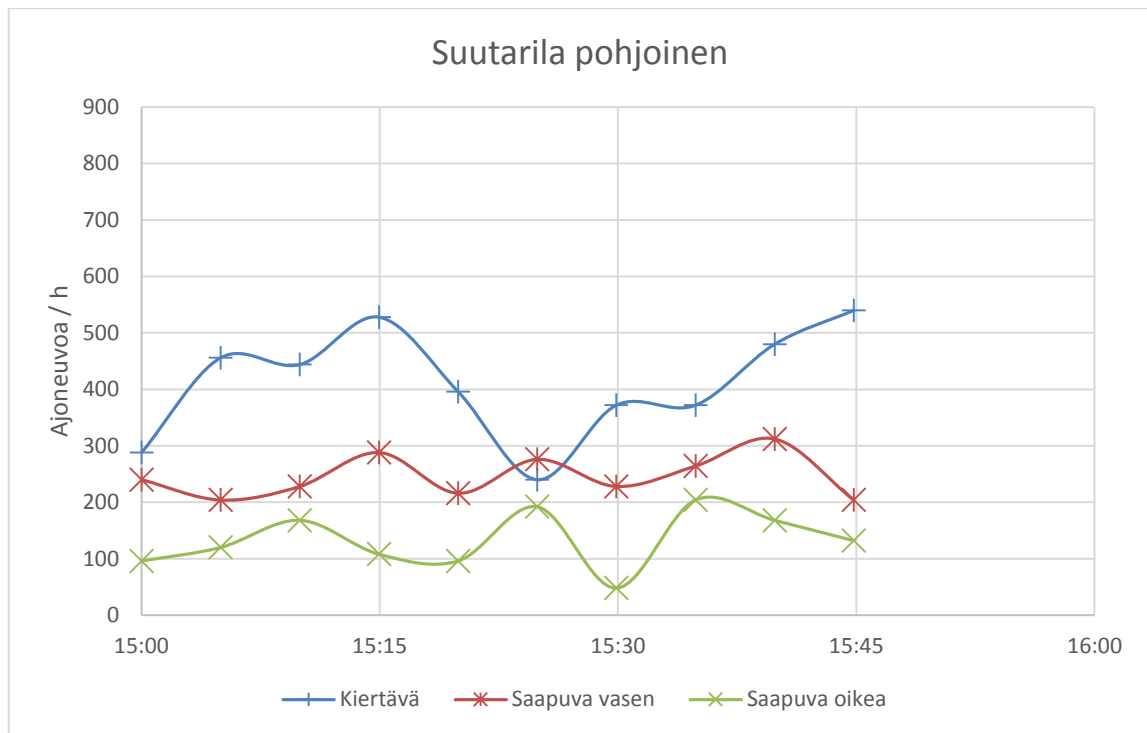
Suutarilan kiertoliittymän iltaruuhkaa tarkkailtiin läntisen haaran osalta 15:00–16:05 ja muiden haarojen osalta 15:00–15:50. Tarkkailujakso oli lyhyehkö, mutta kiertoliittymän liikennemäärät ehtivät jo olla melko korkeita.

Eteläisen haaran (kuva 46) kiertävä liikenne oli tarkkailujakson vilkkainta, 396–732 ajon/h. Saapuvaa liikennettä oli oikealla kaistalla enemmän kuin vasemmalla. Oikean kaistan liikennemäärä oli 276–468 ajon/h ja vasemman 72–300 ajon/h.



*Kuva 46 Liikennemäärä Suutarilan osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa etelän suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella iltapäivällä 2.10.2014.*

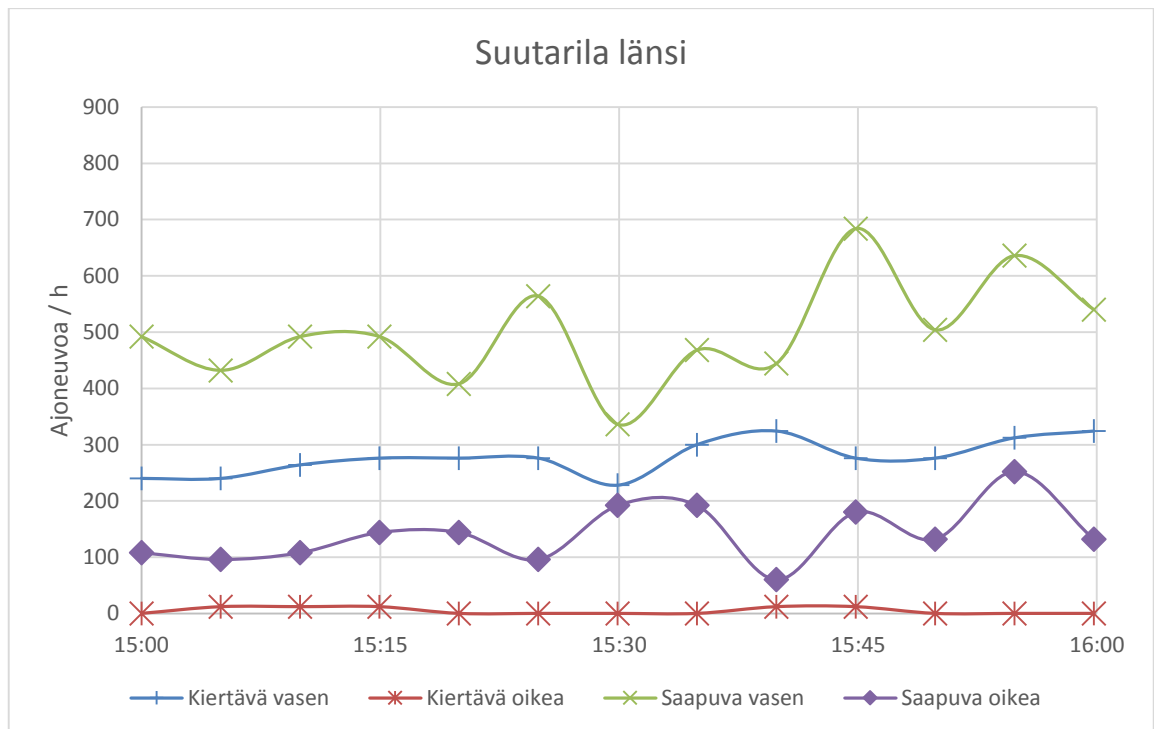
Pohjoisen haaran saapuva liikenne oli melko vähäistä tarkkailujakson aikana, kuten kuvasta 47 nähdään. Saapuvan liikenteen määrä oli vasemmalla kaistalla 204–312 ajon/h ja oikealla kaistalla 48–204 ajon/h. Kiertävää liikennettä oli 276–540 ajon/h.



*Kuva 47 Liikennemäärä Suutarilan osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa pohjoisen suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella iltapäivällä 2.10.2014.*

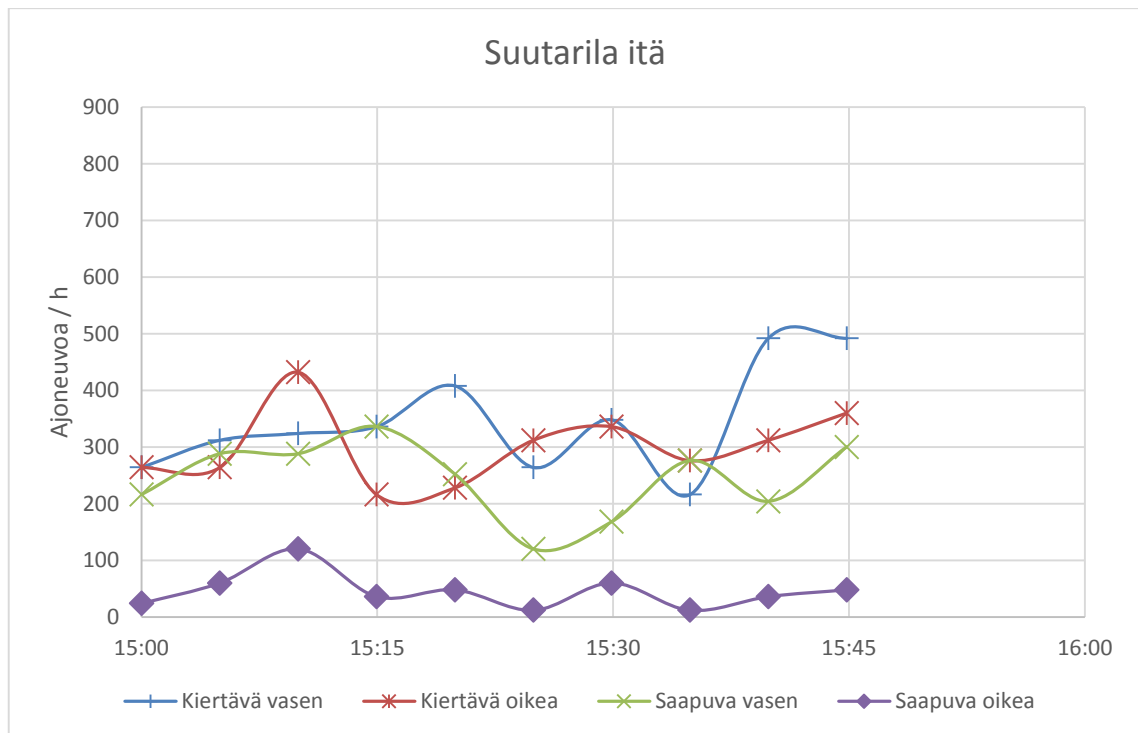
Suutarilan läntisen haaran liikenne oli tarkkailujakson vilkkainta (kuva 48). Kiertävä ulompi kaista jäi aamuruuhkan tapaan lähes käyttämättä, liikennemäärän ollen enimmillään 12 ajon/h. Kiertävän sisemmän kaistan liikennemäärä oli tasaisesti 228–324 ajon/h. Saapuvaa liikennettä oli enemmän vasemmalla kaistalla, 336–684 ajon/h. Oikeaa saapuvaa kaistaa käytti 60–252 ajon/h. Molempien saapuvien kaistojen liikennemäärät olivat huipussaan 15:55–16:00.





Kuva 48 Liikennemäärä Suutarilan osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa lännen suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella iltapäivällä 2.10.2014.

Suutarilan itäisen haaran oikean kaistan liikennemäärät olivat aamuruuhkaa suurempia (kuva 49). Saapuvaa oikeaa kaistaa käytti 12–120 ajon/h ja vasenta 120–336 ajon/h. Kiertävää liikennettä oli sisemmällä kaistalla 216–492 ajon/h ja ulommalla kaistalla 216–432 ajon/h.



Kuva 49 Liikennemäärä Suutarilan osittain 2-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa idän suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella iltapäivällä 2.10.2014.

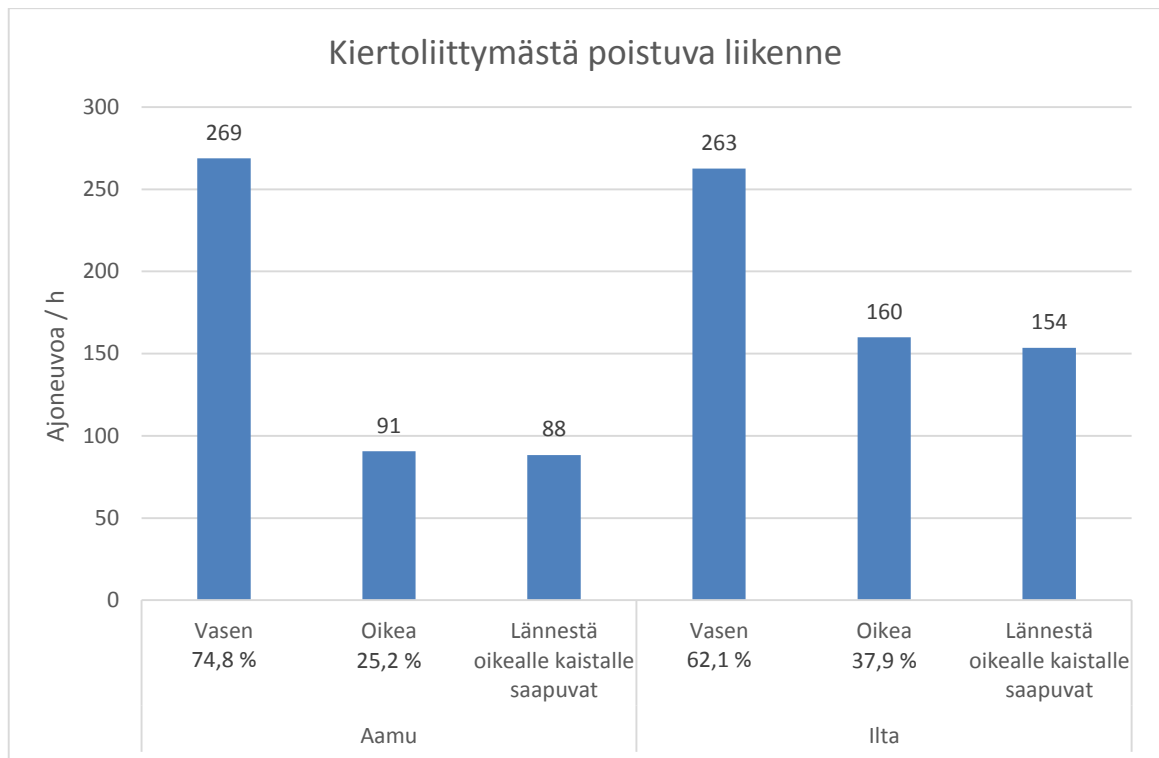
### Ajoneuvoluokka- ja kaistajakaumat

Liitteessä 1 sivuilla 5 ja 6 on taulukoituna Suutarilan kiertoliittymän kaistakohtaiset liikennemäärät ajoneuvoluokittain.

### Poistuva liikenne

Suutarilan liittymässä etelän suuntaan poistuttaessa oikea kaista päättyy 100 metriä liittymän jälkeen. Kuvasta 50 voidaan havaita, että oikeaa poistumiskaistaa käyttävät lähes ainoastaan lännestä saapuvat ajoneuvot. Pohjoisesta saapuvat oikeaa kaistaa käyttävät ajoneuvot saavat ajaa suoraan (etelään) käyttäen kiertotilan ulompaa kaistaa, mutta näin toimi vain hyvin harva kuljettaja tarkkailujaksojen aikana.

Aamuruuhkaa tarkkailtiin 6:45–9:30 ja iltaruuhkaa 15:00–17:00.



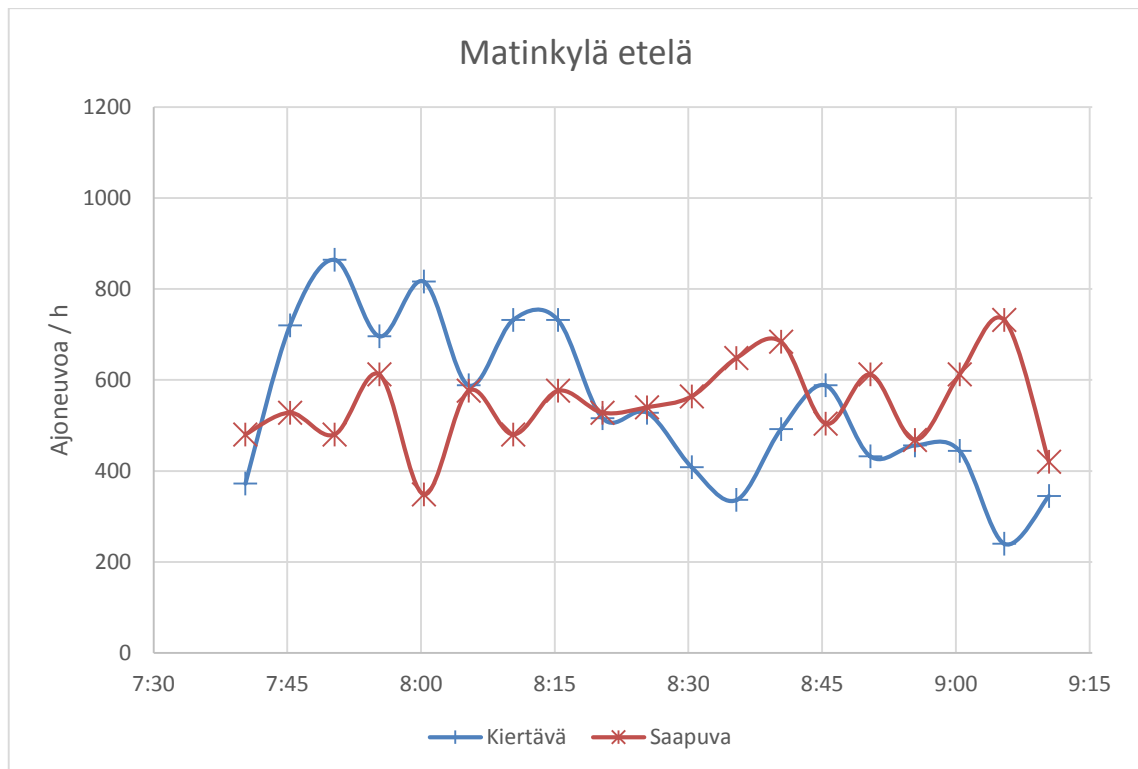
*Kuva 50 Suutarilan 2-kaistaisesta kiertoliittymästä etelään poistuvien ajoneuvojen kaistajakauma aamulla ja illalla 2.10.2014.*

#### 4.1.5 Matinkylä

##### Aamuruuhka

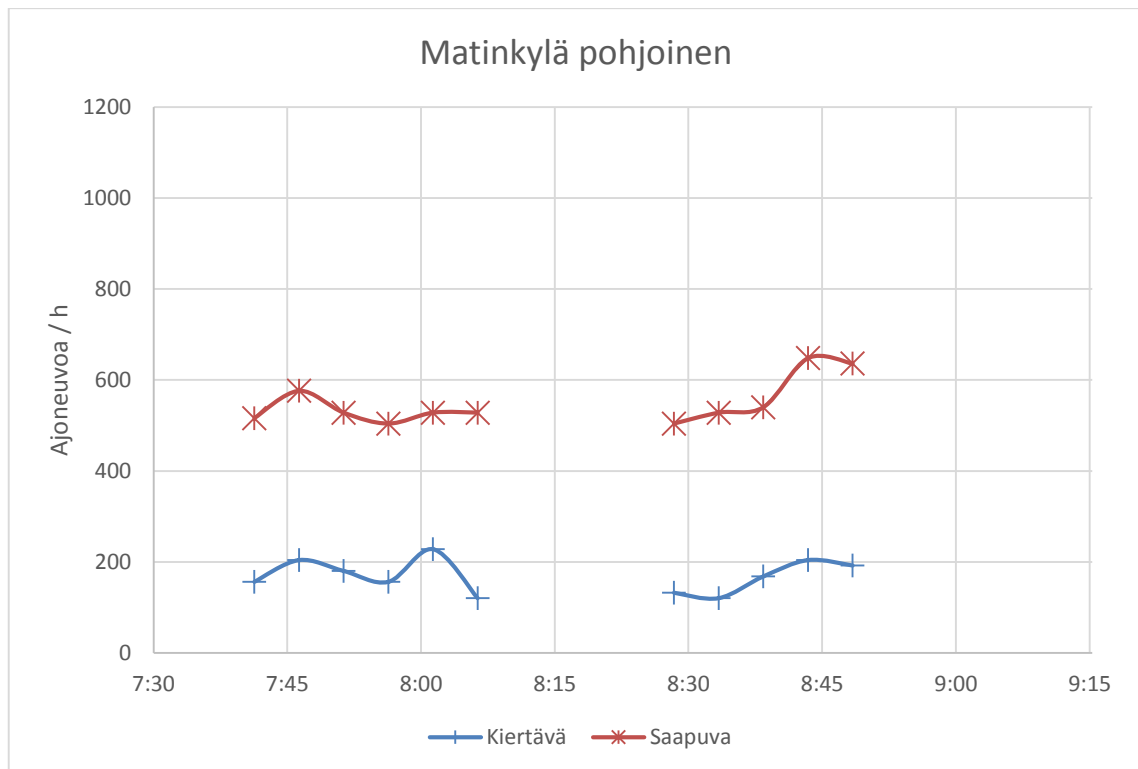
Vaikka Matinkylän kiertoliittymän kiertotila oli monta kertaa aamuruuhkan aikana tukossa, liittymän läpi kulki silti suuria liikennemääriä. Pohjoisen ja idän haaroista ei saatu tuloksia koko tarkkailuajalta johtuen ongelmista videomateriaalin kanssa. Tarkkailujaksot olivat aamuruuhkassa etelän ja lännen osalta 7:41–9:15, ja pohjoisen ja idän osalta 7:42–8:07 sekä 8:29–8:49.

Eteläisen haaran saapuva liikenne ja kiertävä liikenne olivat erittäin vilkkaita aamuruuhkan aikana, kuten kuvasta 51 nähdään. Eteläisessä haarassa on suojatie, jonka vaikutus välityskykyyn oli melko pieni, koska kiertotila oli niin usein tukkeutunut. Saapuvan liikenteen määrä oli 348–732 ajon/h ja kiertävän liikenteen 340–864 ajon/h. Suurin yhteenlaskettu liikennemäärä oli aikajaksona 7:51–7:56 ollen 1344 ajon/h. Tämän aikajakson aikana kiertotila oli kolme kertaa tukkeutunut.



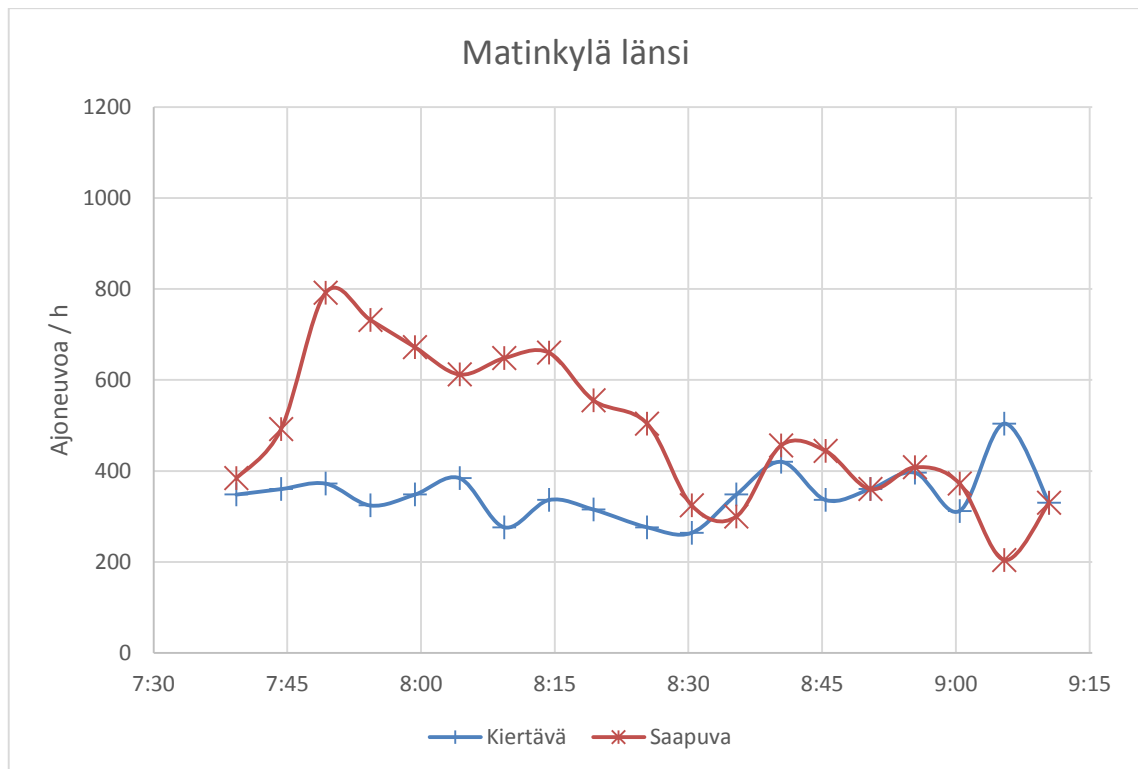
*Kuva 51 Liikennemäärä Matinkylän kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa etelän suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella aamulla 24.9.2015.*

Pohjoisen haaran kohdalla kiertävä liikenne oli aamuruuhkan vähäisintä, kuten kuvasta 52 voidaan havaita. Kiertävä liikenne oli 120–228 ajon/h ja saapuva liikenne 504–648 ajon/h. Aamuruuhkan aikaan pohjoisessa haarassa esiintyi vähiten kiertotilan tukkeutumista.



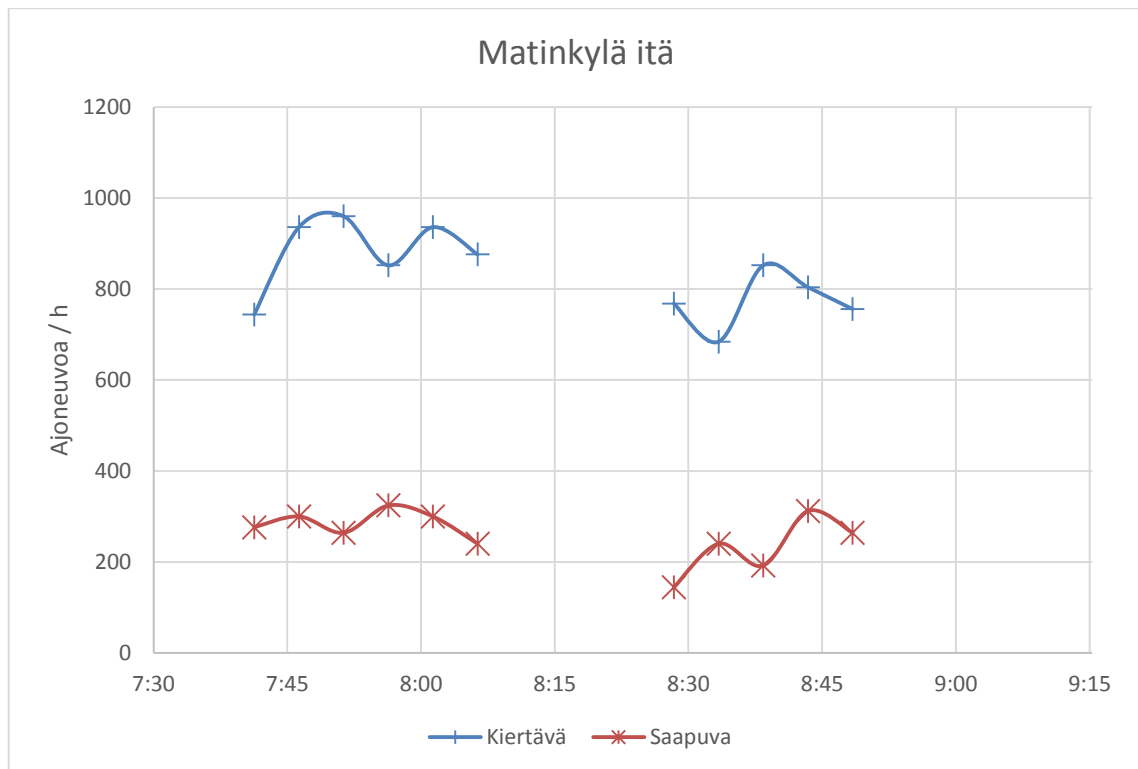
*Kuva 52 Liikennemäärä Matinkylän kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa pohjoisen suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella aamulla 24.9.2015.*

Matinkylän kiertoliittymän läntinen haara (kuva 53) oli saapuvan liikenteen osalta yhtä vilkas eteläisen haaran kanssa. Huippuaikajaksona 7:50–7:55 liittymään pääsi 792 ajon/h, jolloin kiertävää liikennettä oli 372 ajon/h. Saapuvan liikenteen määrä oli tarkkailujakson aikana 204–792 ajon/h ja kiertävän liikenteen 264–504 ajon/h.



*Kuva 53 Liikennemäärä Matinkylän kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa lännen suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella aamulla 24.9.2015.*

Eniten kiertävää liikennettä oli itäisessä haarassa (kuva 54). Kiertävä liikenne oli tarkkailujakson aikana 684–960 ajon/h ja saapuva liikenne 144–324 ajon/h. Kiertävää liikennettä olisi luultavasti ollut enemmän, jos pohjoinen poistuva haara ei olisi ollut jatkuvasti tukkeutunut, koska todennäköisesti osa ajoneuvoista poistui itään välttääkseen tukoksen.



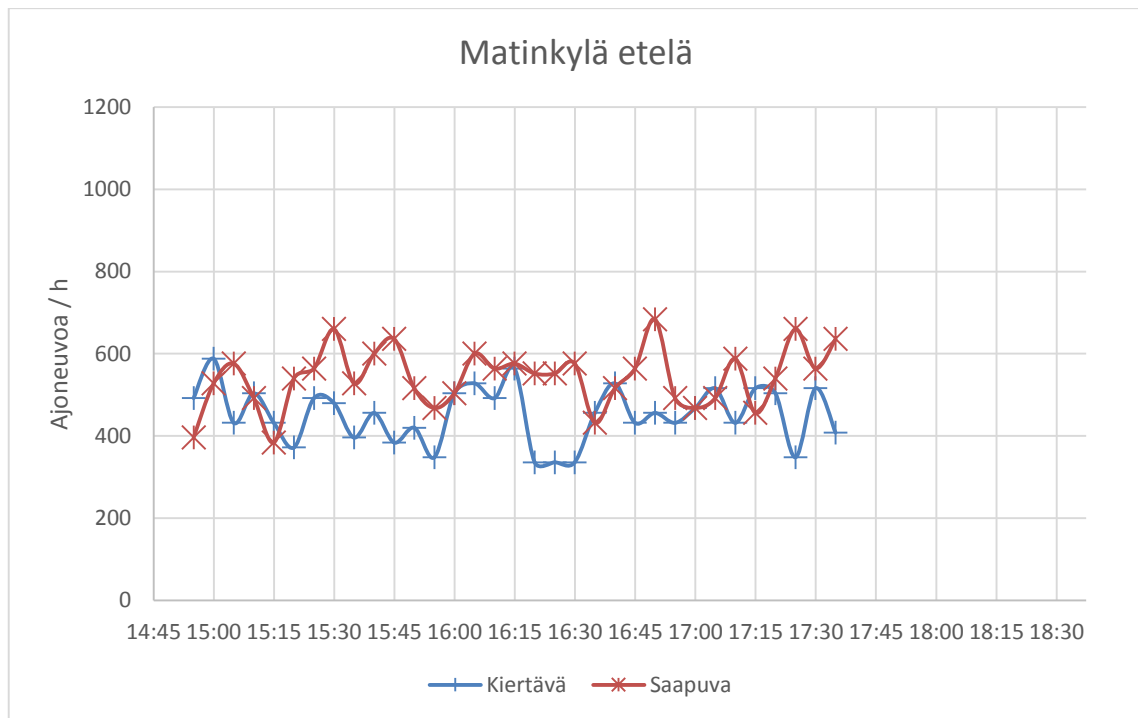
Kuva 54 Liikennemäärä Matinkylän kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa idän suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella aamulla 24.9.2015.

## Iltaruuhka

Iltaruuhkassa Matinkylän kiertoliittymässä oli vilkasta. Iltaruuhkaa tarkkailtiin etelän osalta 14:55–17:40 ja pohjoisen sekä idän osalta kolmessa jaksossa 14:55–15:20, 16:05–16:50 sekä 17:16–17:41. Jaksoja oli kolme, koska videotiedostoissa oli vikaa. Läntinen haara oli mielenkiintoisin, joten tarkkailujakso oli 14:54–18:37 ollen näin pisin jaksosta.

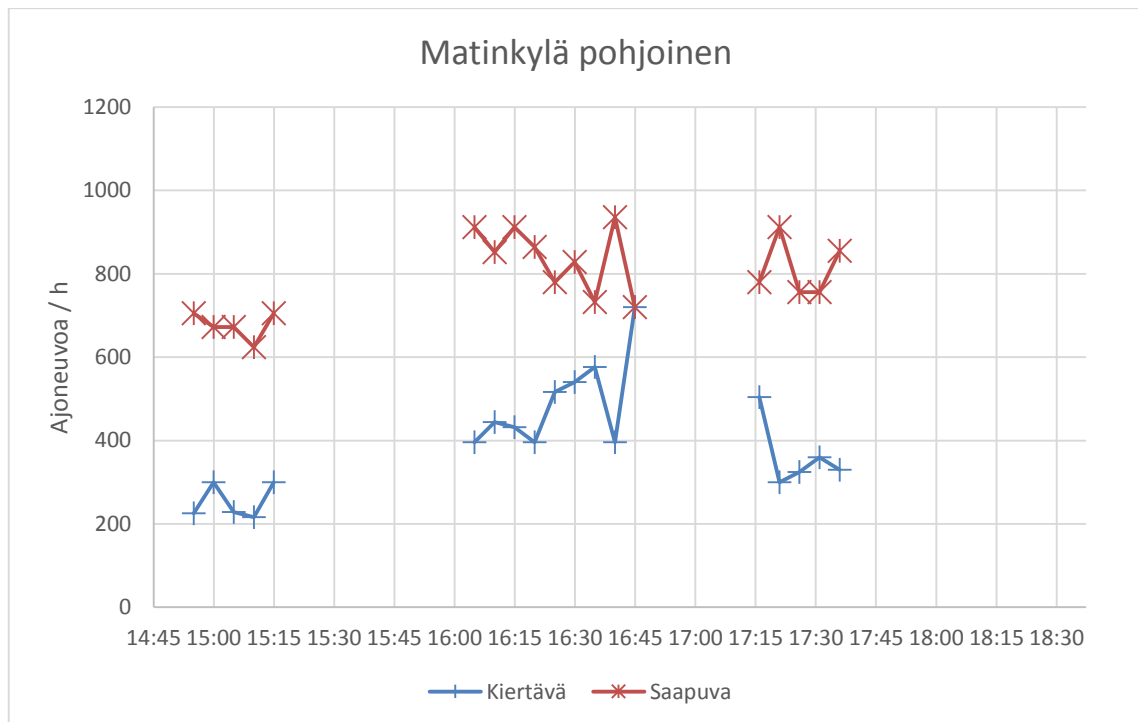
Eteläisen haaran liikenne oli melko vilkasta iltaruuhkassakin (kuva 55). Saapuvan liikenteen määrä oli 396–684 ajon/h ja kiertävän liikenteen määrä 336–588 ajon/h. Eteläisen haaran kiertotilaan ei ajoittain päässyt kiertäviä ajoneuvoja, koska etelään poistuvat ajoneuvot väistivät kevyen liikenteen väylää käyttäviä, mikä johti läntisen kiertotilan ajoittaiseen tukkeutumiseen.





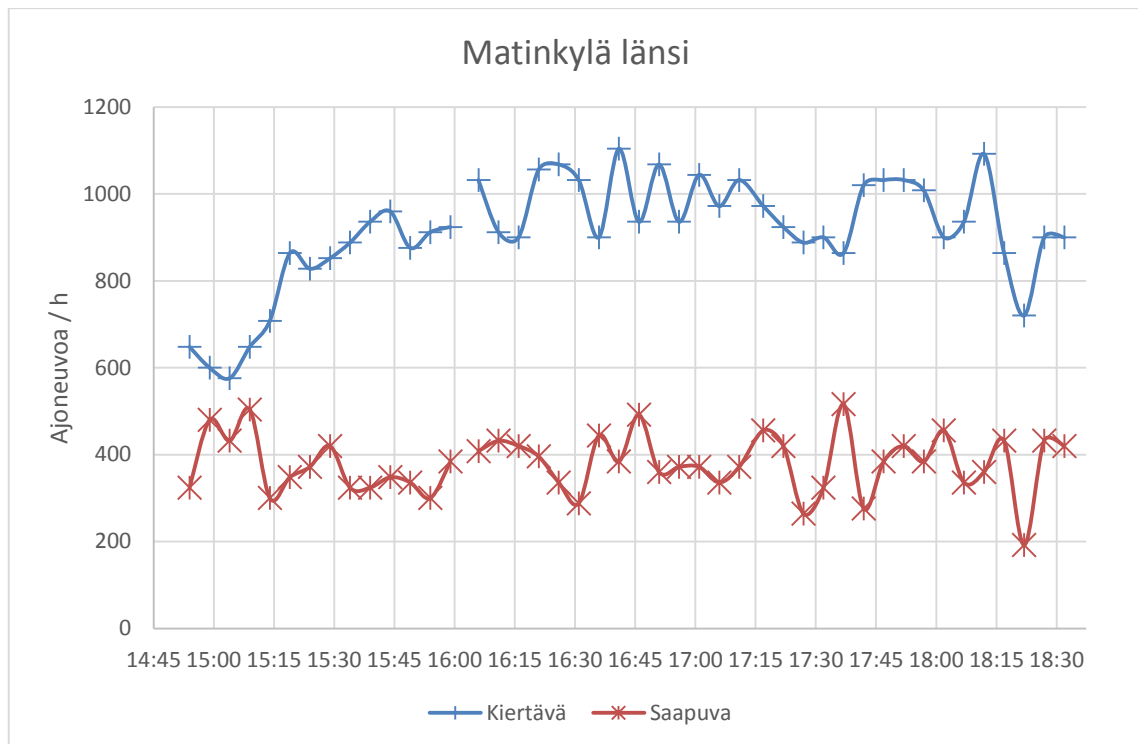
*Kuva 55 Liikennemäärä Matinkylän kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa etelän suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella iltapäivällä 24.9.2015.*

Matinkylän pohjoinen haara oli saapuvan liikenteen osalta vilkkain iltaruuhkassa. Kuvasta 56 voidaan havaita, että liittymään pääsi parhaimmillaan 936 ajon/h, jolloin kiertävää liikennettä oli 396 ajon/h (16:40–16:45). Koko tarkkailujakson aikana saapuva liikenne oli 624–936 ajon/h ja kiertävä liikenne 216–720 ajon/h. Pohjoisesta saapui ajoneuvoja jonoksi asti, mutta jatkuva jono kuitenkin katkesi aina ajoittain johtuen liikennevaloista 150 metrin päässä tulosuunnalla.



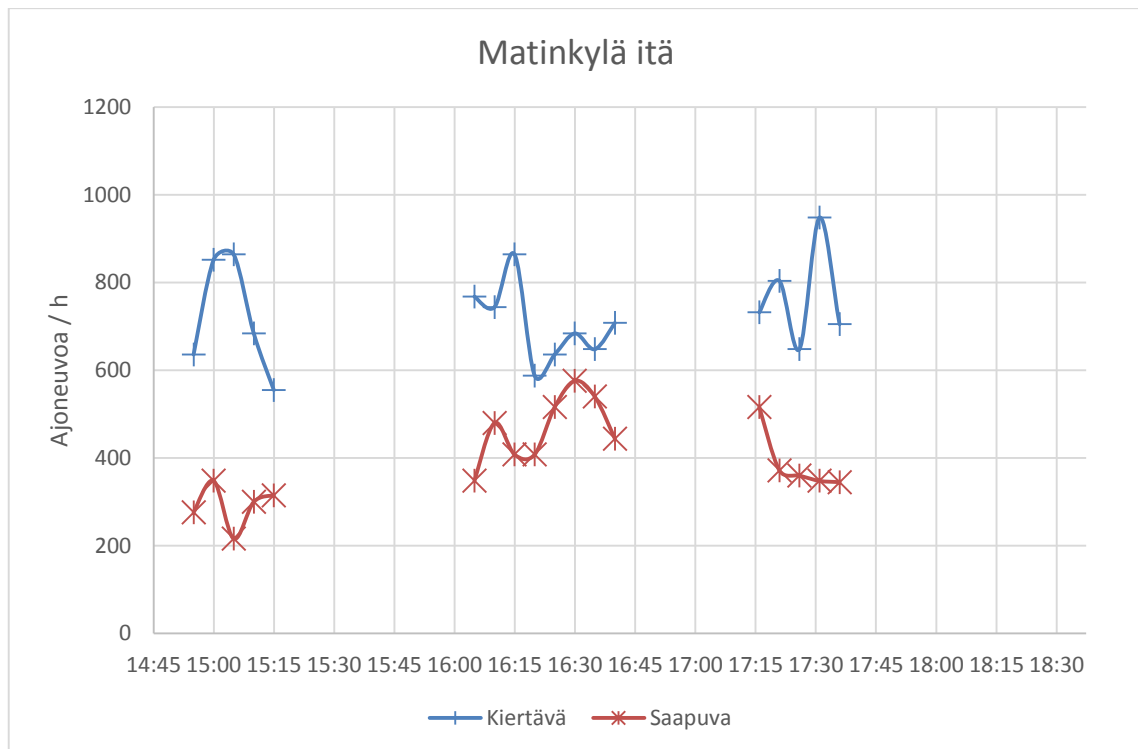
*Kuva 56 Liikennemäärä Matinkylän kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa pohjoisen suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella iltapäivällä 24.9.2015.*

Läntinen haara (kuva 57) oli kiertävän liikenteen osalta iltaruuhkan vilkkain. Kiertävää liikennettä oli monessa 5 min aikajaksossa yli 1000 ajon/h, huipun ollessa 16:41–16:46 1104 ajon/h, jolloin kiertoliittymään pääsi 384 ajon/h. Kiertävä liikennemäärä oli tarkkailujaksolla 576–1104 ajon/h ja saapuva liikennemäärä 192–516 ajon/h. Kiertotila oli ajoittain tukossa eteläisen haaran suojatien vaikutuksesta, mutta kuten monissa tutkituista haaroista, kiertotilaan muodostuneeseen jonoon jäi ainakin osassa tapauksista sen kokoinen väli, josta ainakin osa saapuvista ajoneuvoista, jotka eivät kääntyneet oikealle, pääsivät jatkamaan kiertotilaan jonon välistä.



*Kuva 57 Liikennemäärä Matinkylän kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa lännen suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella iltapäivällä 24.9.2015.*

Matinkylän kiertoliittymän itäinen haara oli ajoittain myös hyvin vilkasliikenteinen. Kuvasta 58 huomataan, että kiertävän liikenteen määrä oli ajoittain lähes 1000 ajon/h vaihdellen 555–948 ajon/h (555 ajon/h laskettiin neljän minuutin aikajaksosta). Saapuva liikenne oli 216–576 ajon/h vilkkaimman aikajakson ollessa 16:30–16:35.



Kuva 58 Liikennemäärä Matinkylän kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa idän suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella iltapäivällä 24.9.2015.

### Ajoneuvoluokkajakauma

Liitteessä 1 sivuilla 7 ja 8 on taulukoituna Matinkylän kiertoliittymän liikennemäärät ajoneuvoluokittain.

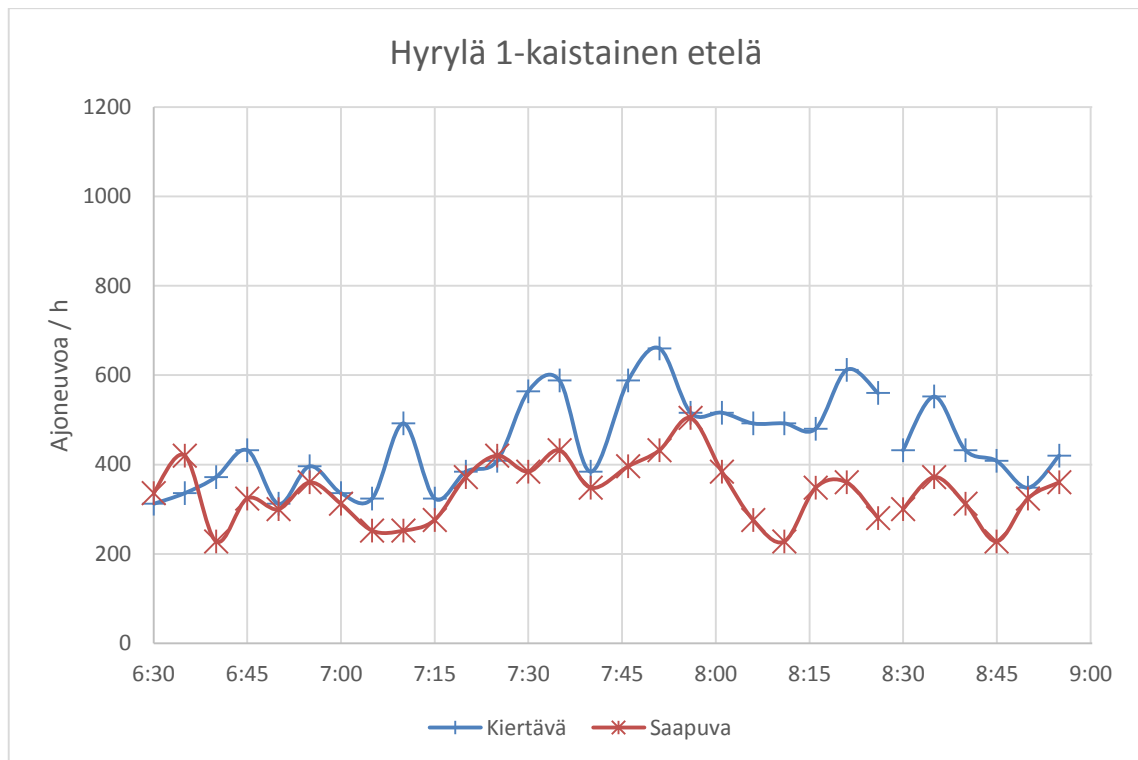
### 4.1.6 Hyrylä pohjoinen

#### Aamuruuhka

Hyrylän pohjoisen kiertoliittymän aamuruuhkaa tarkkailtiin 6:30–9:00. Koska kuvauspäivä sijoittui myöhälle syksyyn, jouduttiin videokameran valoherkkyyttä (exposure) säätämään monta kertaa kesken kuvausten, mikä aiheutti aina noin minuutin katkoksen videomateriaaliin.

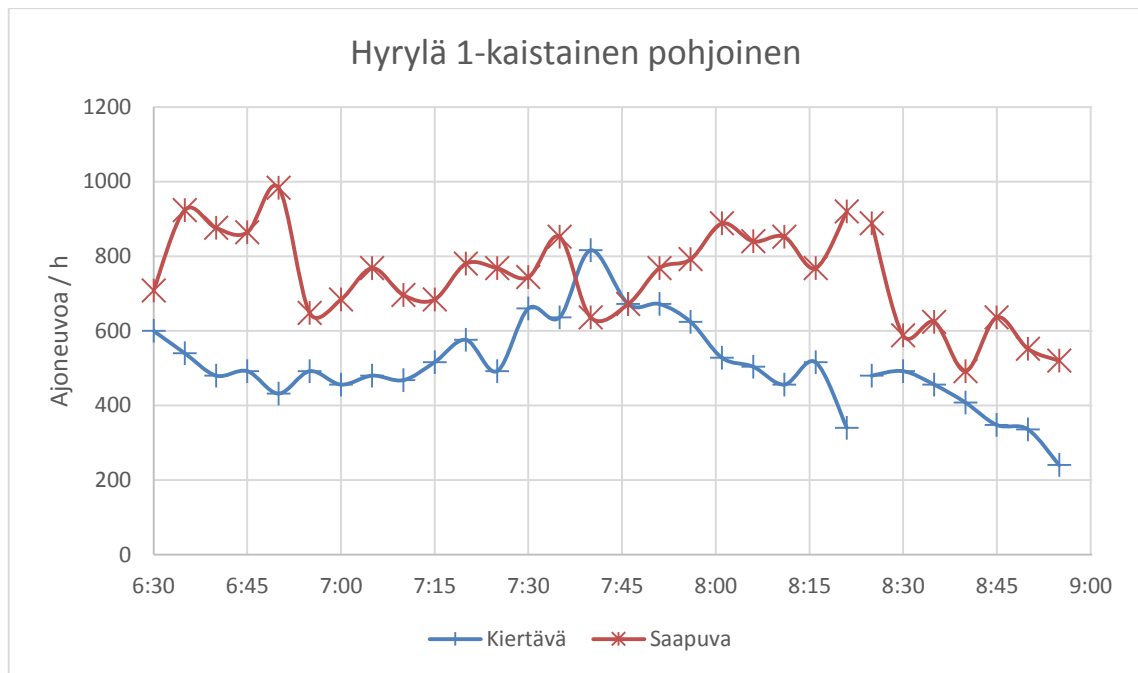
Hyrylän kiertoliittymän eteläinen haara oli aamuruuhkan hiljaisin saapuvan liikenteen osalta. Suurin saapuva liikennemäärä havaittiin 7:56–8:01, jolloin liikennemäärä oli 504 ajon/h (kuva 59). Kiertävän liikenteen määrä oli samalla aikajaksolla 516 ajon/h. Saapuvan liikenteen määrä oli tarkkailujakson aikana 228–504 ajon/h ja kiertävän liikenteen määrä 312–660 ajon/h.

Aamuruuhkassa etelästä saapuvan liikenteen raskaiden ajoneuvojen osuus (14,2 %) oli suurin tästä kiertoliittymästä mitatuista raskaan saapuvan liikenteen osuuksista.



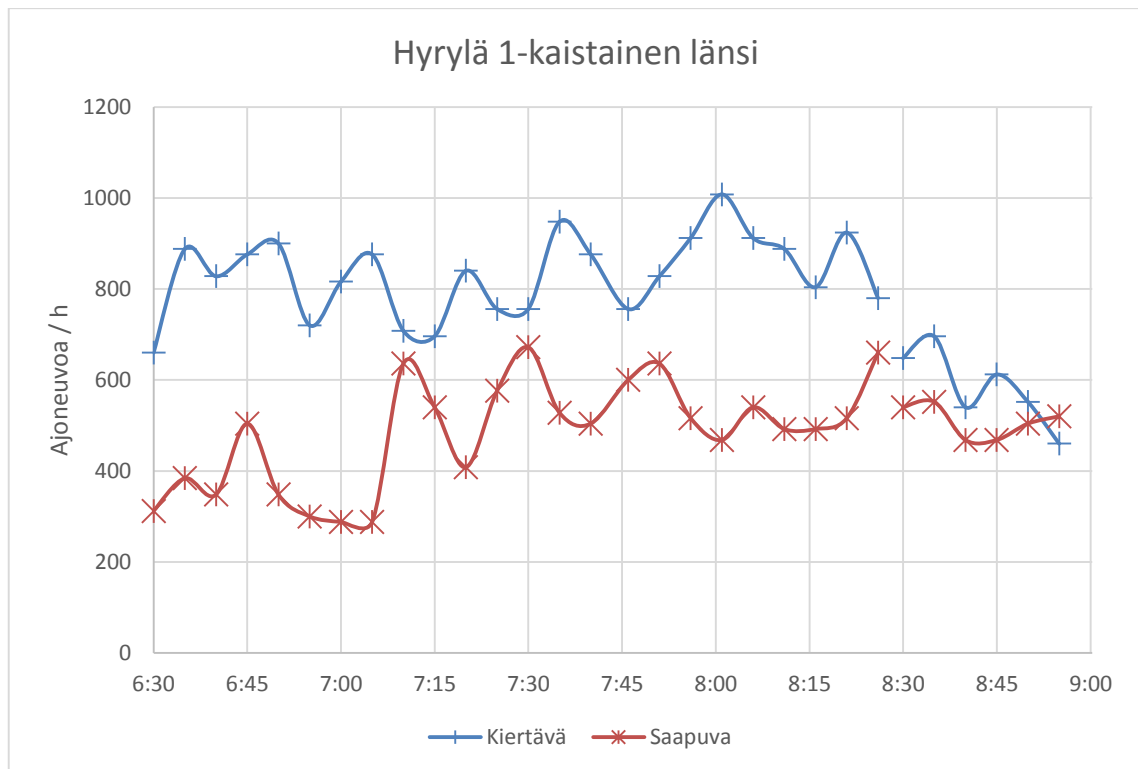
*Kuva 59 Liikennemäärä Hyrylän 1-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa etelän suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella aamulla 28.10.2015.*

Kuvassa 60 esitetyn pohjoisen haaran saapuva liikenne oli aamuruuhkan vilkkainta. Saapuvan liikenteen määrä oli 492–984 ajon/h ja kiertävän liikenteen määrä 240–816 ajon/h. Kun kiertävä liikenne oli vilkkaimmillaan 7:40–7:45, oli saapuvan liikenteen määrä 636 ajon/h. Tämän 5 minuutin aikajakson liikennemäärä oli yhteenlaskettuna 1452 ajon/h.



*Kuva 60 Liikennemäärä Hyrylän 1-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa pohjoisen suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella aamulla 28.10.2015.*

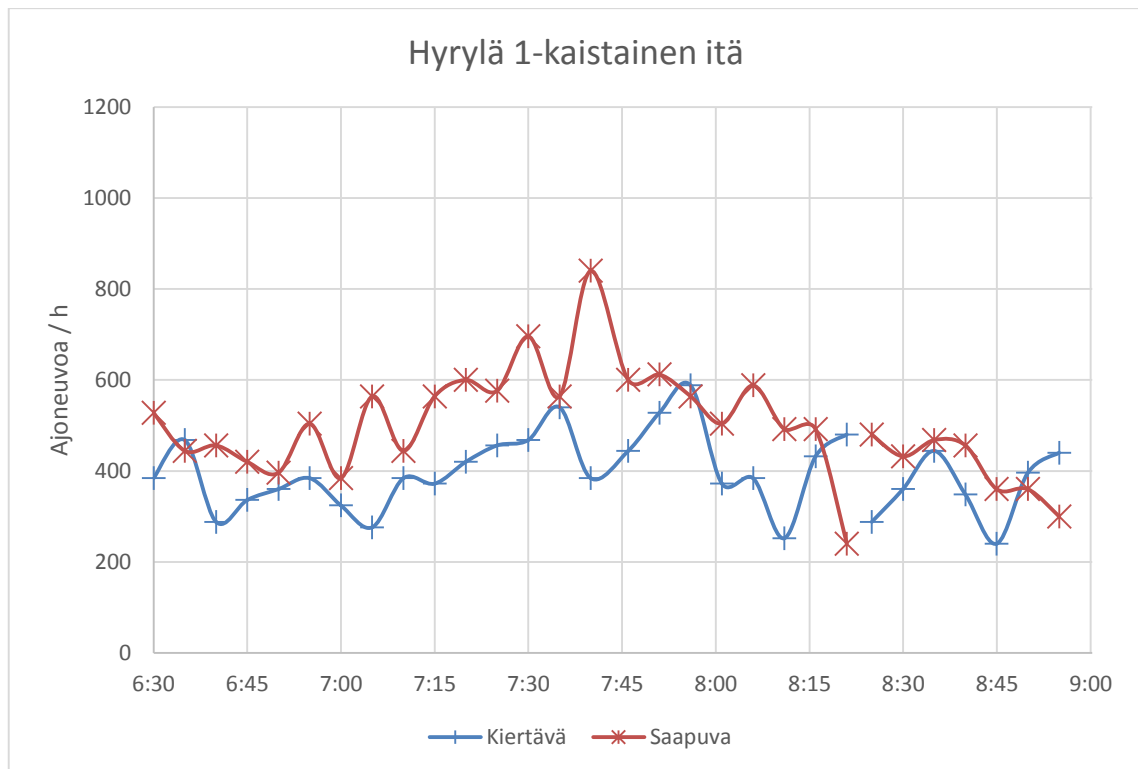
Läntisen haaran kiertävä liikenne oli aamuruuhkan vilkkainta. Suurin liikennemäärä havaittiin 8:01–8:06, jolloin kiertävää liikennettä oli 1008 ajon/h (kuva 61). Saapuvaa liikennettä oli tällä havaintojaksolla 468 ajon/h. Kiertävää liikennettä oli aamuruuhkan aikaan 460–1008 ajon/h ja saapuvaa liikennettä 288–672 ajon/h.



*Kuva 61 Liikennemäärä Hyrylän 1-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa lännen suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella aamulla 28.10.2015.*

Itäisen haaran saapuva liikenne oli aamuruuhkan aikaan 240–840 ajon/h ja kiertävä liikenne 240–588 ajon/h. Kuvasta 62 huomataan, että 7:40–7:45 saapuva liikenne oli suurimmillaan ja kiertävää liikennettä oli tällöin 384 ajon/h. Liitteestä 1 sivulta 9 voidaan havaita, että kiertävän liikenteen raskaiden ajoneuvojen osuus oli melko korkea, 14,4 %.



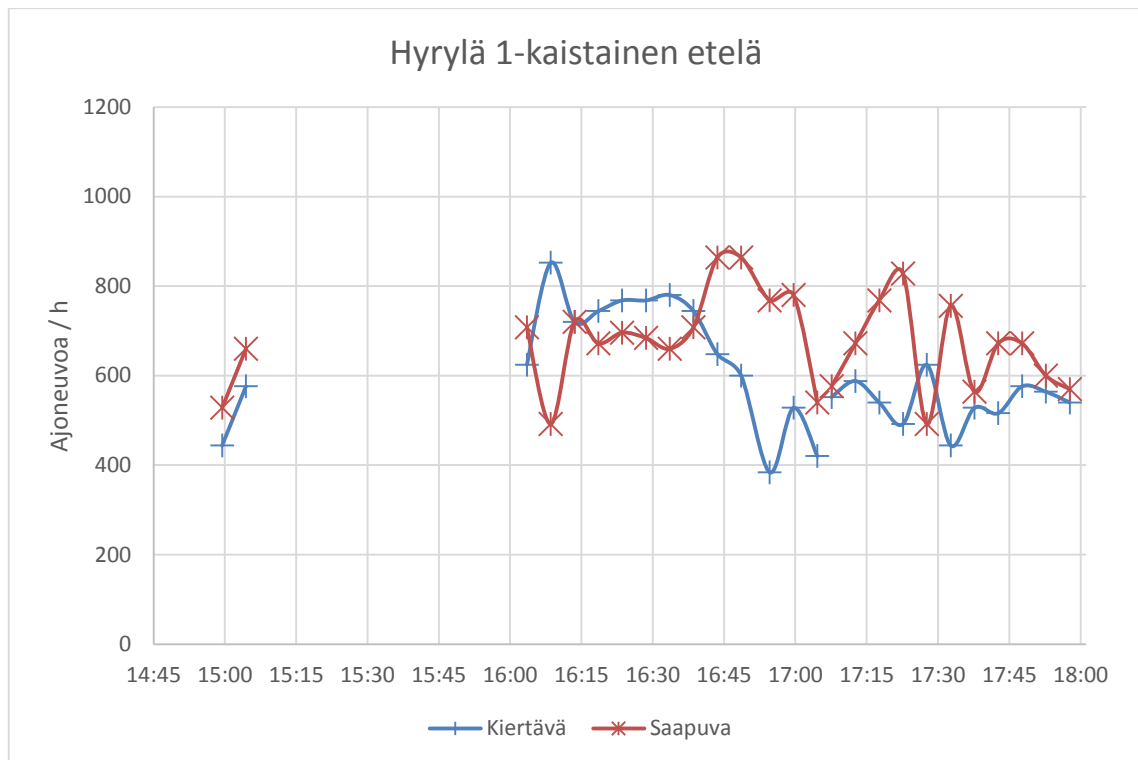


Kuva 62 Liikennemäärä Hyrylän 1-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa idän suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella aamulla 28.10.2015.

## Iltaruuhka

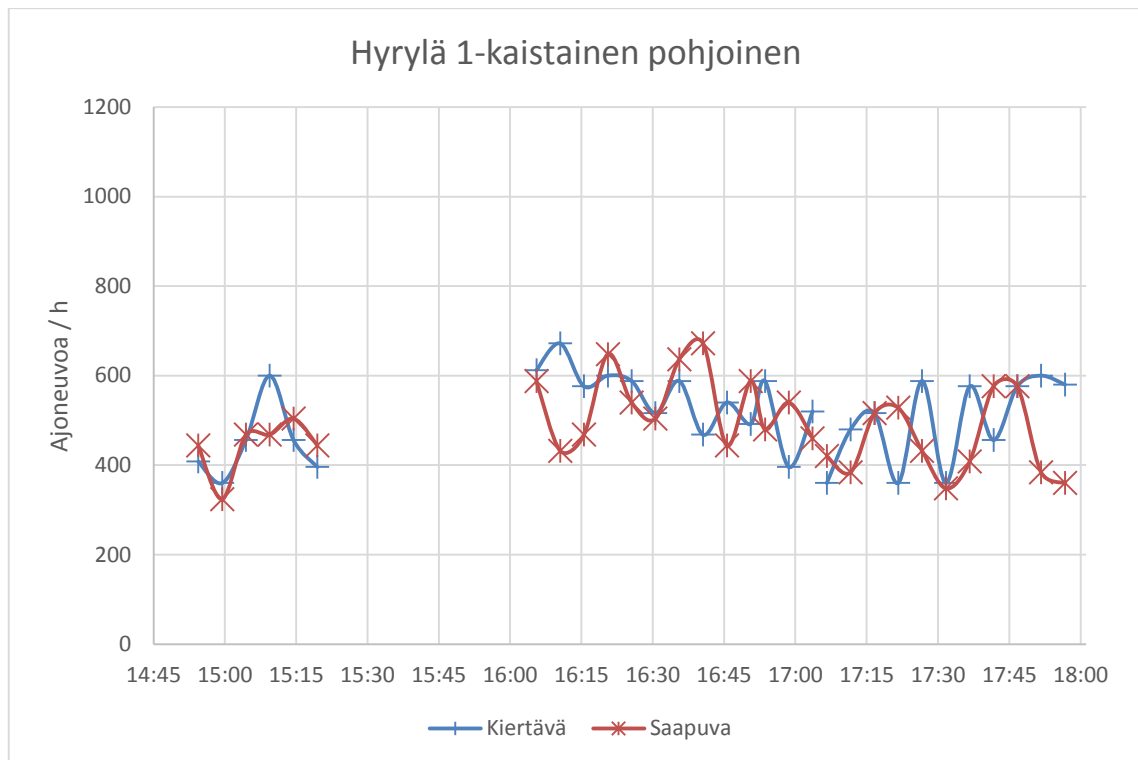
Hyrylän pohjoisen kiertoliittymän iltaruuhkasta jäi teknisten ongelmien vuoksi puuttumaan noin 45 minuuttia, mutta materiaalia saatiin kuitenkin oletettavasti mielenkiintoisimpaan aikaan eli pian kello neljän jälkeen. Liitteen 1 sivulta 10 on tarkistettavissa tarkat ajat, jotka jäivät iltaruuhkan tuloksista pois.

Eteläisessä tulosuunnassa (kuva 63) havaittiin iltaruuhkan pisimmät jonot. Jonot alkoivat kuitenkin vasta, kun oli jo pimeää, joten jonojen purkautumista eikä pituutta ei voitu täysin tarkasti havaita. Suurimmillaan (864 ajon/h) saapuva liikenne oli kahtena peräkkäisenä aikajaksona 16:44–16:54, jolloin kiertävän liikenteen määrät olivat 648 ja 600 ajon/h. Tarkkailujaksolla kiertävä liikenne vaihteli välillä 384–852 ajon/h ja saapuva liikenne välillä 492–864 ajon/h.



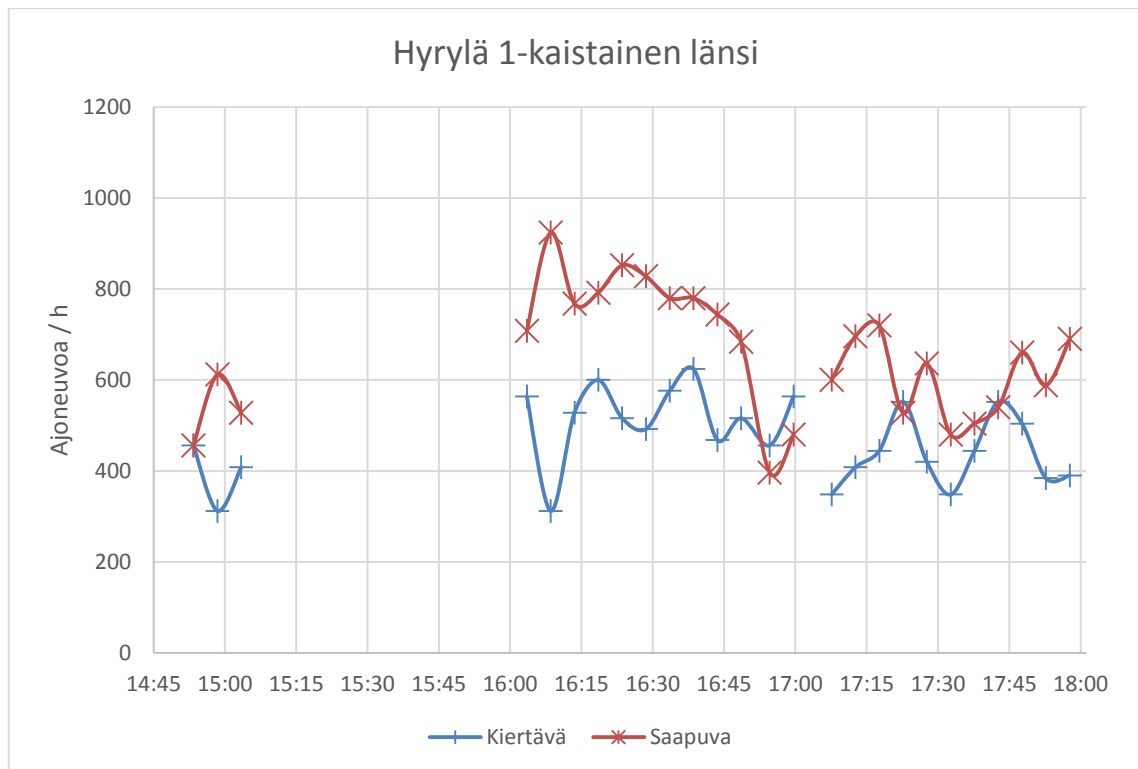
*Kuva 63 Liikennemäärä Hyrylän 1-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa etelän suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella iltapäivällä 28.10.2015.*

Pohjoisen haaran saapuva liikenne oli 324–672 ajon/h. Kiertävä liikenne oli 360–672 ajon/h. Selviä piikkejä ei tuloksissa havaittu, vaan liikenne oli melko tasaista koko iltaruuhkan ajan, kuten kuvasta 64 huomataan.



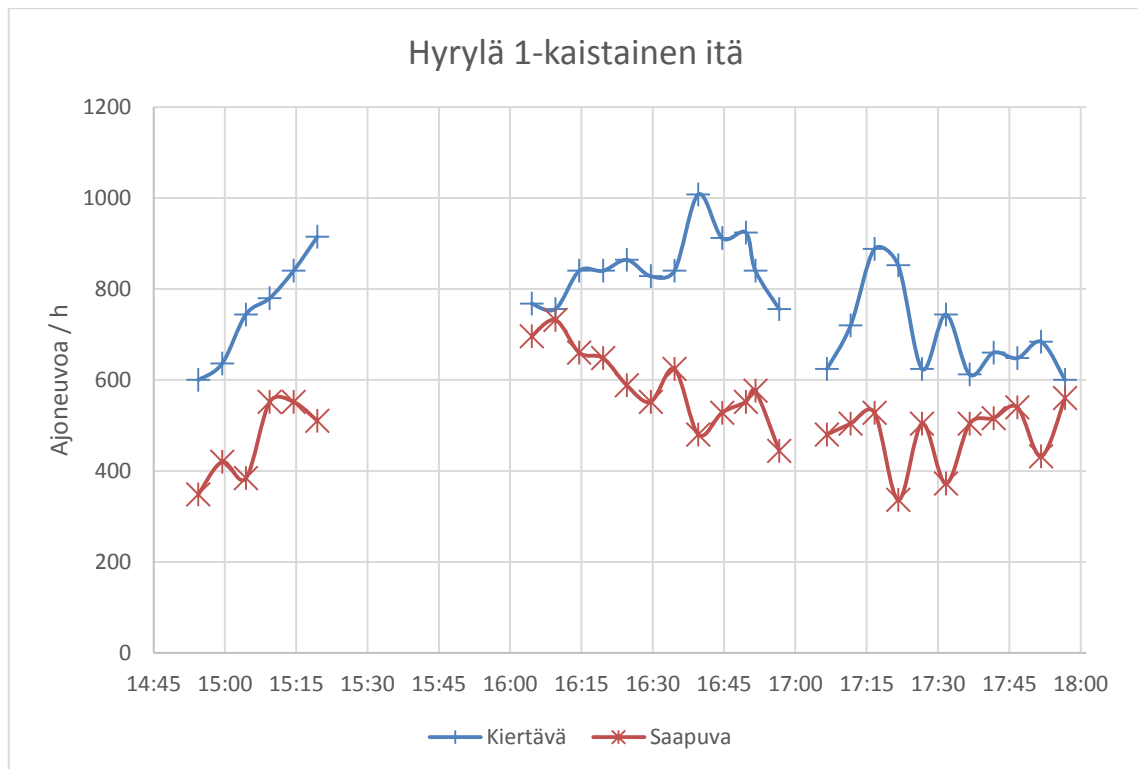
*Kuva 64 Liikennemäärä Hyrylän 1-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa pohjoisen suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella iltapäivällä 28.10.2015.*

Kuvassa 65 esitetyn läntisen haaran liikenne oli iltaruuhkassa vilkasta. Jonoja muodostui hetkittäin. Suurimmillaan saapuvan liikenteen määrä oli 924 ajon/h aikajaksolla 16:09–16:14, jolloin kiertävän liikenteen määrä oli 312 ajon/h. Tarkkailujakson saapuva liikenne oli 396–924 ajon/h ja kiertävä liikenne 312–624 ajon/h.



*Kuva 65 Liikennemäärä Hyrylän 1-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa lännen suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella iltapäivällä 28.10.2015.*

Itäisessä haarassa oli iltaruuhkan suurimmat liikennemäärät kiertävän liikenteen osalta. Suurin kiertävän liikenteen määrä havaittiin 16:40–16:45, jolloin liikennemäärä oli 1008 ajon/h. Saapuvan liikenteen määrä oli tänä aikajaksona 480 ajon/h. Kiertoliittymään saapuvat ajoneuvot joutuivat jonottamaan ajoittain, mutta jonon pituuksia ei voitu videomateriaalista havaita. Kuvasta 66 nähdään, että saapuvan liikenteen määrä oli iltaruuhkan aikaan 336–732 ajon/h ja kiertävän liikenteen määrä 600–1008 ajon/h.



Kuva 66 Liikennemäärä Hyrylän 1-kaistaisessa kiertoliittymässä 5 minuutin aikajaksoissa idän suunnasta saapuvan liikenteen ja kiertävän liikenteen konfliktialueella iltapäivällä 28.10.2015.

## Ajoneuvoluokkajakauma

Liitteessä 1 sivuilla 9 ja 10 on taulukoituna Hyrylän pohjoisen kiertoliittymän liikennemäärät ajoneuvoluokittain.

## 4.2 Väliytiskyky

### 4.2.1 Väliytiskyvyn määrittämisen periaatteet

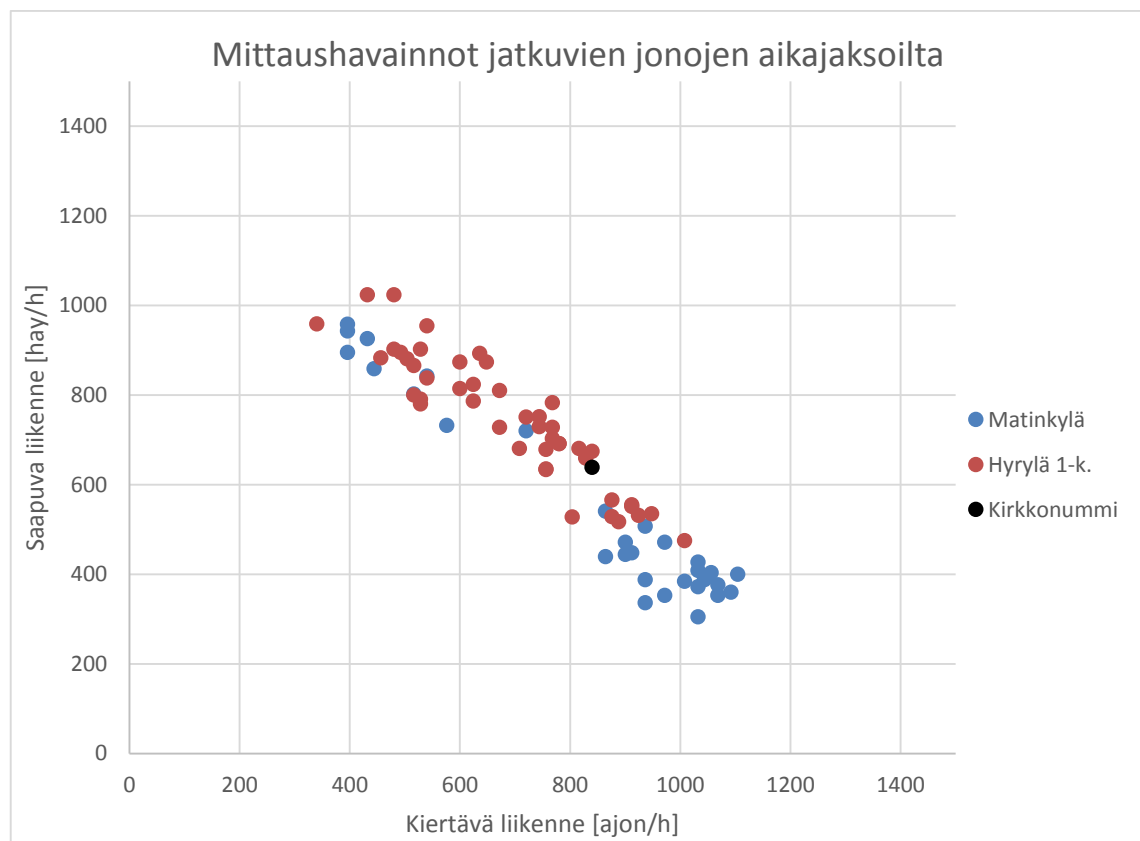
Väliytiskykytarkastelussa käytettiin suomalaista menetelmää teoreettisen väliytiskyvyn osoittamiseen kuvaajissa. Menetelmässä tarvittavat parametrien arvot otettiin teoriaosuudessa esitetystä taulukosta 1 ja laskettiin kaavoilla 19 ja 20 (sivu 17). Raskaan liikenteen osuutena havaituissa liikennemäärissä käytettiin kunkin esitetyn viiden minuutin aikajakson mitattua raskaan liikenteen osuutta. Teoreettisen väliytiskyvyn osoittavissa käyrissä käytettiin koko tarkkailujakson raskaan liikenteen osuuden keskiarvoa. Väliytiskykykuvaajissa käyrien selite  $C_p$  on suomalaisen menetelmän mukaan laskettu väliytiskyky.

Osittain kaksikaistaisien kiertoliittymien haaroissa, joissa oli kaksi kiertävää kaistaa, tarvittiin myös kiertävän liikenteen kaistankäyttöosuus, joka saatiin mittaushavainnoista. Haaroissa, joissa oli kaksi saapuvaa ja kaksi kiertävää kaistaa, käytettiin saapuvan vasemman kaistan väistettävänä liikennemääränä molempien kiertävien kaistojen yhteenlaskettua liikennemäärää. Oikealle saapuvalla kaistalla käytettiin ainoastaan ulomman kiertävän kaistan liikennemäärää, koska sisemmän kaistan liikennevirta ei ole väistettävä.

Osittain kaksikaistaisissa kiertoliittymissä päädyttiin ratkaisuun, jossa molemmille saapuville kaistoille on esitetty oma välityskykykäyränsä. Saapuvien kaistojen liikennemäärät poikkesivat monesti toisistaan huomattavasti, ja näin ollen oli mielekästä tutkia molempia kaistoja erikseen. Mittaushavainnot oli myös parempi muuttaa henkilöautoyksiköiksi kais-takohtaisesti, koska voitiin käyttää kunkin kaistan tarkkaa raskaan liikenteen osuutta.

Kevyen liikenteen vaikutus arvioitiin Matinkylän kiertoliittymässä liikennemäärällä 60 ja-lankulkijaa tai pyöräilijää tunnissa. Suutarilan kiertoliittymässä kevyen liikenteen vaikutusta ei erikseen huomioitu, koska kevyttä liikennettä oli vähän, samoin kuin liikennettä suunnista, joissa kevyen liikenteen väylä ylitti ajoradan. Suojatiet oli sijoitettu etäälle kiertotilasta, ku-ten kuuluukin, ja näin ollen suojateiden ja kevyen liikenteen vaikutus jäi siinäkin mielessä mitättömäksi.

Kuvassa 67 on esitetty liikennemäärät niiltä aikajaksoilta, jolloin tutkimuskohteissa havait-tiin koko aikajakson kestänyt jatkuva jono. Jatkuva jono tarkoittaa, että koko tarkkaillun aikajakson ajan kiertotilaan pääsyä on ollut ainakin yksi ajoneuvo odottamassa. Tällöin myös välityskyky on saavutettu. Hyrylän yksikaistaisen liittymän mittaushavainnot ovat ko-konaisvälityskyvyn (saapuva ja kiertävä liikennemäärä yhteensä) suhteen hieman suurempia kuin Matinkylän. Kirkkonummen yksi jonojakso on samaa suuruusluokkaa Hyrylän tulosten kanssa. Kirkkonummen kiertoliittymän ainoassa jonoaikajaksossa valtaosa kiertävästä lii-kenteestä oli ulkokaistalla, mikä vaikuttaa sekä teoreettiseen että todelliseen välityskykyyn alentavasti.



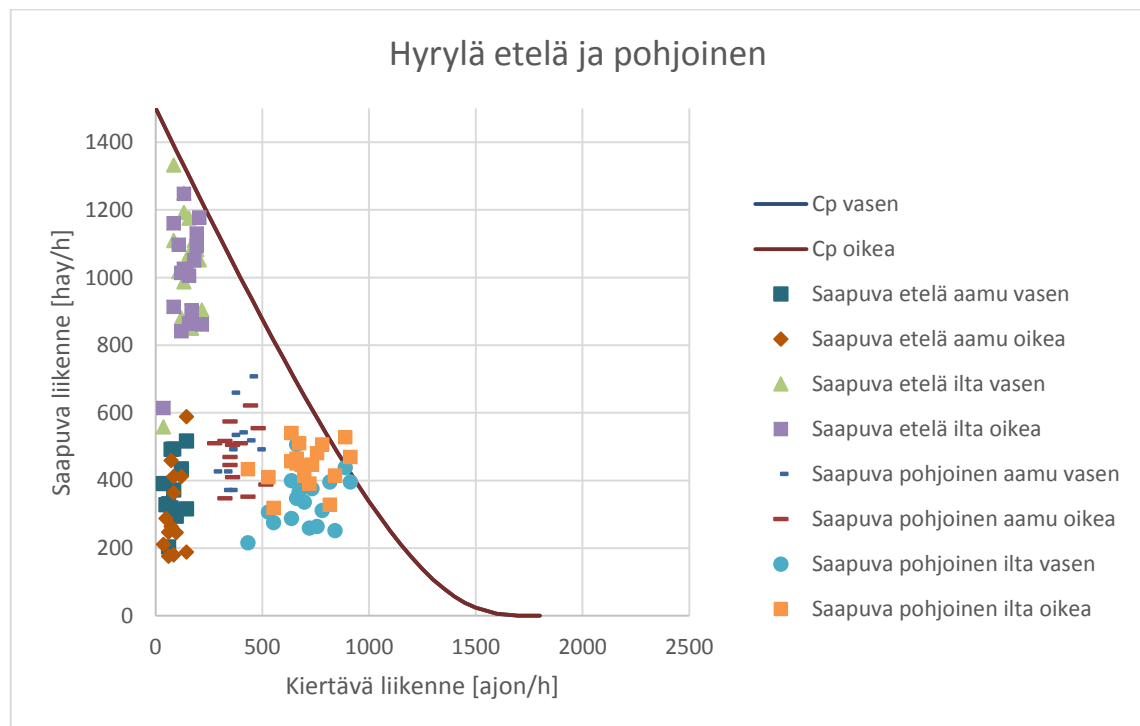
Kuva 67 Liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoilta, joiden aikana oli koko tarkkailujakson ajan kestävä jatkuva jono.

Hyrylän kaksikaistaisessa kiertoliittymässä oli välityskykytutkimuksen kannalta harmillista, että isot liikennemäärät eivät päässeet muodostumaan jonoiksi asti, paitsi lyhyiksi ajoiksi. Matinkylän kiertoliittymässä taas oli ongelmana, että joko pohjoisella tulosuunnalla olevat liikennevalot katkoivat liikennevirtaa tai läntisen haaran kiertävä liikenne pysähtyi hetkittäin suojateiden takia. Näiden syiden takia päätettiin kyseisten liittymien mitatut liikennemäärät esittää myös minuutin pituisilta aikajaksoilta, jolloin on todennäköistä, että myös koko (minuutin) aikajakson kestäneitä jonojaksoja esiintyy tuloksissa. Nämä tulokset ovat liitteessä 10.

#### 4.2.2 Hyrylä eteläinen

Kuvassa 68 on esitetty suomalaisella menetelmällä laskettu välityskykyä kuvaava käyrä ja verrattu tuloksia kenttämittauksissa havaittuihin liikennemääriin. Teoreettisen välityskyvyn raskaan liikenteen osuutena käytettiin mittaustuloksista saatua keskiarvoa. Jatkuvaa jonoa ei ehtinyt syntyä kokonaiseksi viiden minuutin tarkkailujaksoksi.

Eteläisen ja pohjoisen haaran mittaustulokset pystyttiin sijoittamaan samaan kuvaajaan, koska kaistajärjestelyt ovat molemmissa samanlaisia (2+1). Molemmille saapuville kaistoille käytettiin samoja parametreja välityskyvyn laskemiseen, joten teoreettinen välityskyky on sama molemmilla saapuvilla kaistoilla. Teoreettinen välityskyky ylittyi pohjoisella tulosuunnalla iltaruuhkassa molemmilla saapuvilla kaistoilla.



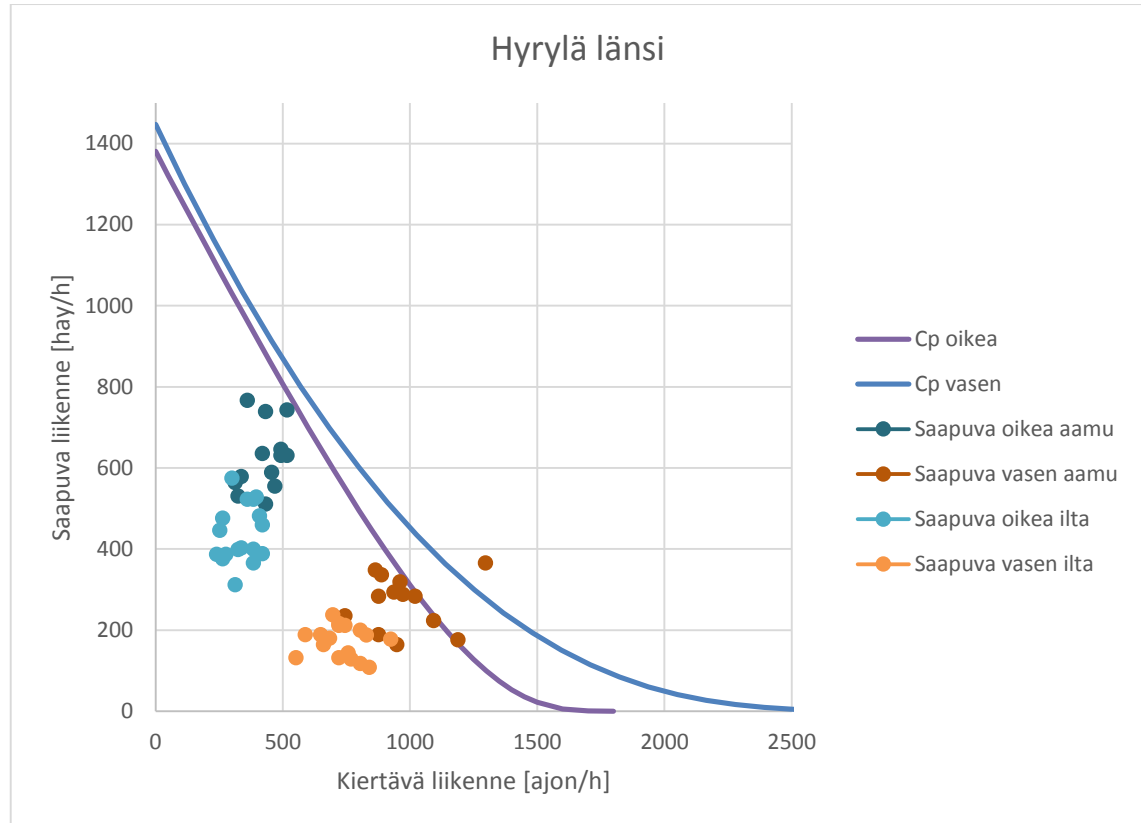
Kuva 68 Hyrylän 2-kaistaisen kiertoliittymän eteläisen ja pohjoisen haaran välityskyky kaistakohtaisesti suomalaisen menetelmän mukaan sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla ja illalla 23.10.2014.

Hyrylän läntisen haaran välityskyky (kuva 69) on laskettu molemmille saapuville kaistoille erikseen, koska teoreettiset välityskyvyt eroavat merkittävästi toisistaan suurilla kiertävän liikenteen määrillä. Vasemman kaistan välityskyvyn laskemisessa käytettiin suomalaisen menetelmän kaksikaistaisen kiertoliittymän teoreettiseen välityskykyyn tarkoitettua yhtälöä.



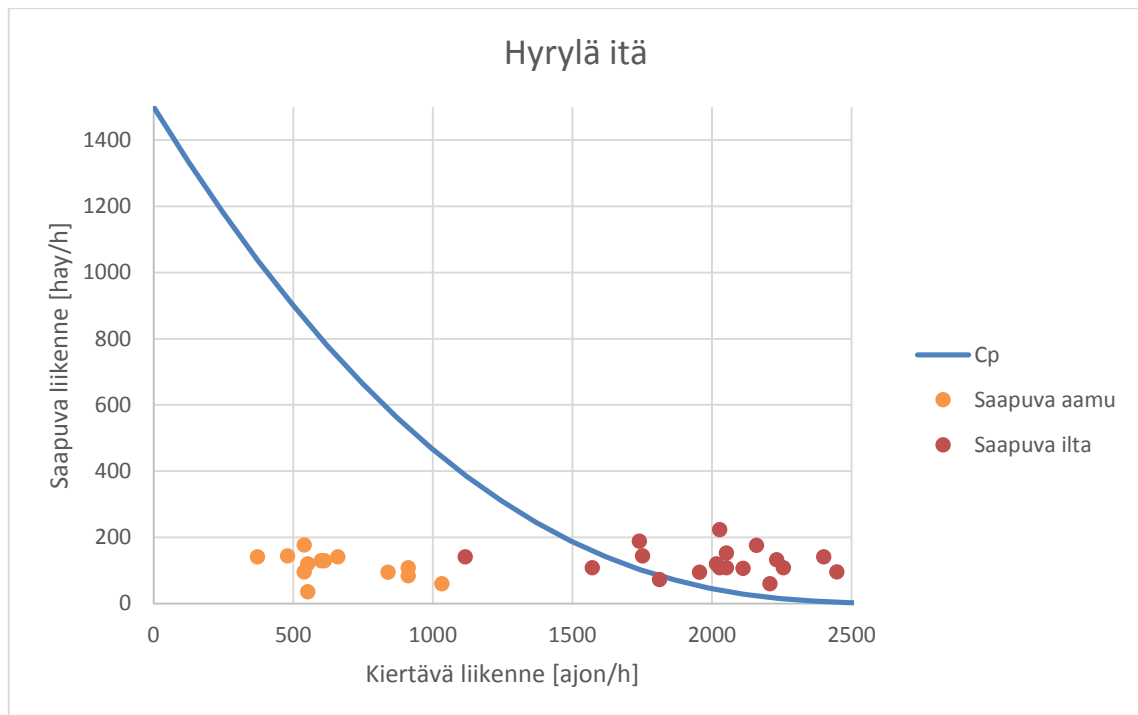
Oikean kaistan välityskyky voitiin laskea tavallisen yksikaistaisen kiertoliittymän välityskyvyn arviointiin tarkoitetulla menetelmällä.

Tämän haaran vasemman kaistan teoreettinen välityskyky ylittyi aamuruuhkassa yhdellä viiden minuutin aikajaksolla noin 80 ajoneuvolla tunnissa.



Kuva 69 Hyrylän 2-kaistaisen kiertoliittymän läntisen haaran välityskyky kaistakohtaisesti suomalaisen menetelmän mukaan, kun kiertotila on 2-kaistainen ja ulommalla kiertävällä kaistalla ajavien osuus on 44 % sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla ja illalla 23.10.2014.

Hyrylän itäisen haaran (kuva 70) teoreettinen välityskyky ylittyi iltaruuhkassa lähes jokaisella tutkitulla aikajaksolla. Tulosuunnalle ei muodostunut yhdeksikään kokonaiseksi viiden minuutin aikajaksoksi jatkuvaa jonoa. Tulosuunnan teoreettinen välityskyky laskettiin käyttämällä kaksikaistaisen kiertoliittymän yhden saapuvan kaistan välityskykyä. Suurimmillaan teoreettinen välityskyky ylittyi noin 180 hay/h.

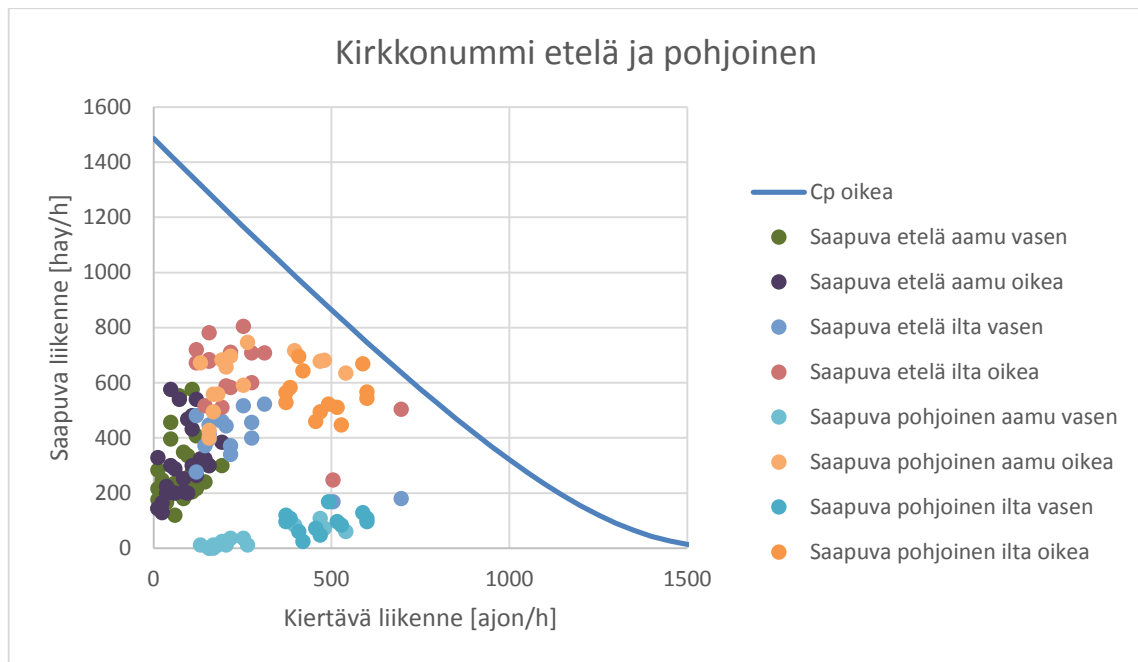


*Kuva 70 Hyrylän 2-kaistaisen kiertoliittymän itäisen haaran välityskyky suomalaisen menetelmän mukaan, kun kiertotila on 2-kaistainen ja ulommalla kiertävällä kaistalla ajavien osuus on 46 % sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla ja illalla 23.10.2014.*

### 4.2.3 Kirkkonummi

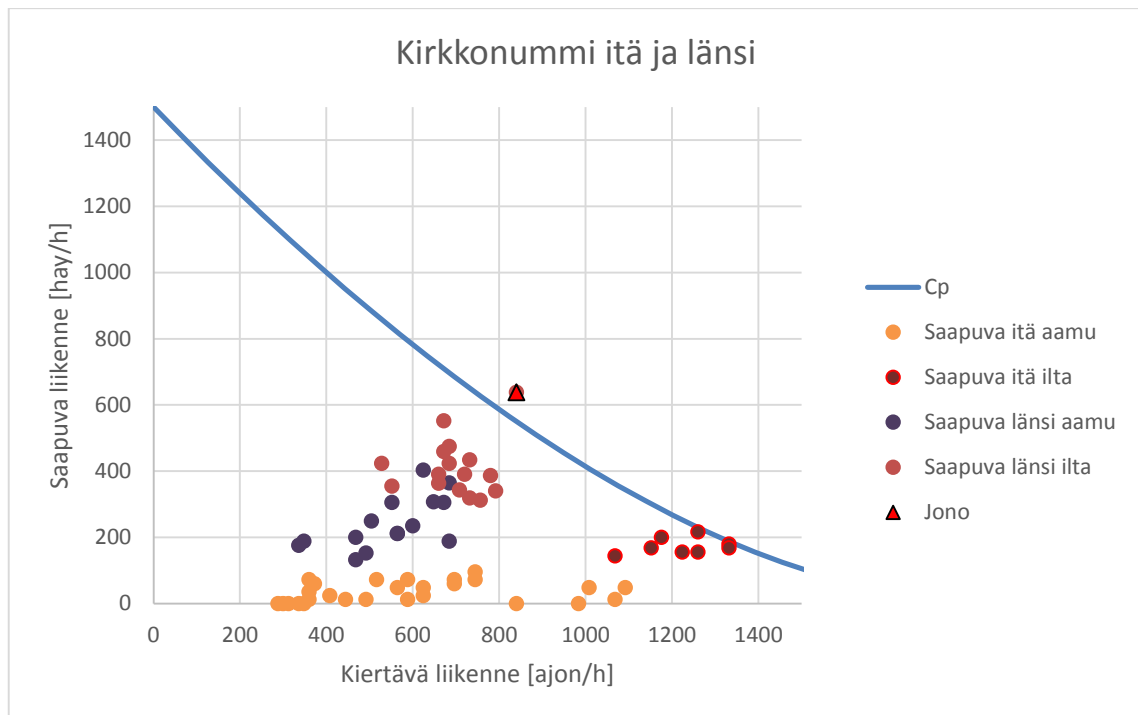
Kirkkonummen kiertoliittymässä eteläinen ja pohjoinen haara yhdistettiin samaan välityskykykuvaajaan, samoin kuin itäinen ja läntinen haara.

Eteläisen ja pohjoisen haaran välityskykykuvaajasta (kuva 71) voidaan havaita, että kierto-  
liittymän teoreettinen välityskyky oli suurempi kuin mittaustulokset. Tämä näkyi myös vi-  
deoaineistosta. Kumpikaan tulosuunta ei jonoutunut tarkkailujakson aikana.



*Kuva 71 Kirkkonummen 2-kaistaisen kiertoliittymän eteläisen ja pohjoisen haaran välityskyky kaistakohtaisesti suomalaisen menetelmän mukaan sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla 18.9.2014 ja illalla 1.9.2014.*

Kirkkonummen itäisen ja läntisen haaran vilkkaimpien jaksojen mitatut liikennemäärät olivat hieman lähempänä teoreettista välityskykyä kuin etelän ja pohjoisen. Kuvasta 72 huomataan, että läntisessä haarassa laskennallinen välityskyky ylittyi yhdellä 5 min aikajaksolla, jolloin tulosuunnalla oli myös ainoa jatkuva jono. Itähaarassa liikennemäärät olivat lähellä teoreettista välityskykyä (12 hay/h alle), joka olisi luultavasti ylittynyt, jos kiertotila ei olisi ollut niin usein tukkeutunut.

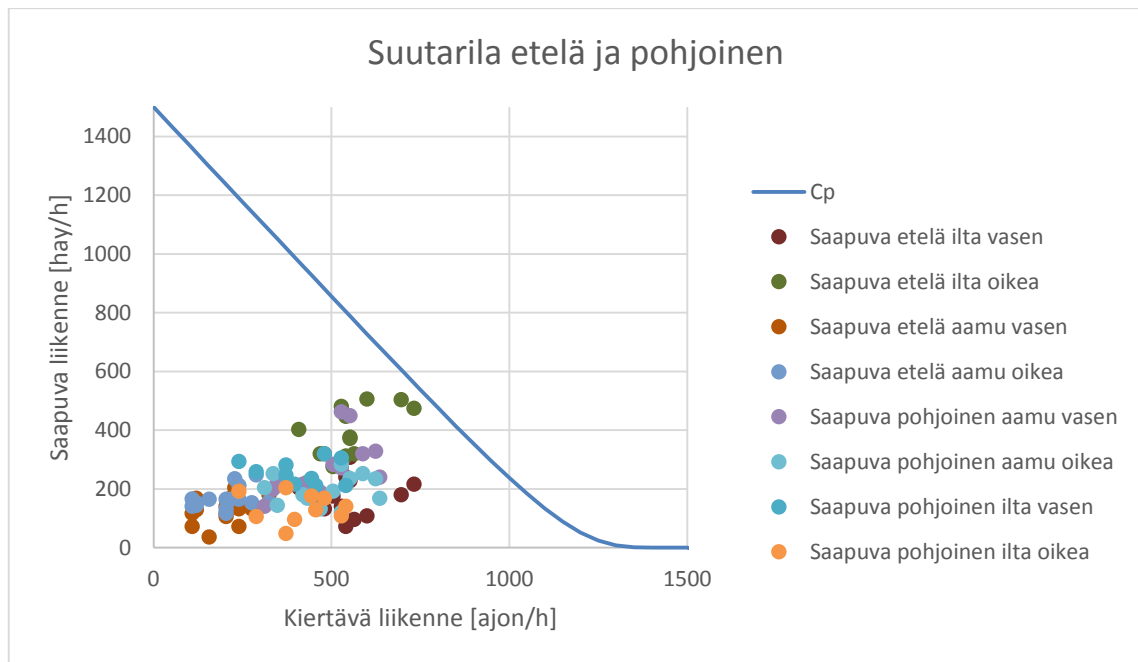


Kuva 72 Kirkkonummen 2-kaistaisen kiertoliittymän itäisen ja läntisen haaran välityskyky suomalaisen menetelmän mukaan, kun kiertotila on 2-kaistainen ja ulommalla kiertävällä kaistalla ajavien osuus on 79 % sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla 18.9.2014 ja illalla 1.9.2014.

#### 4.2.4 Suutarila

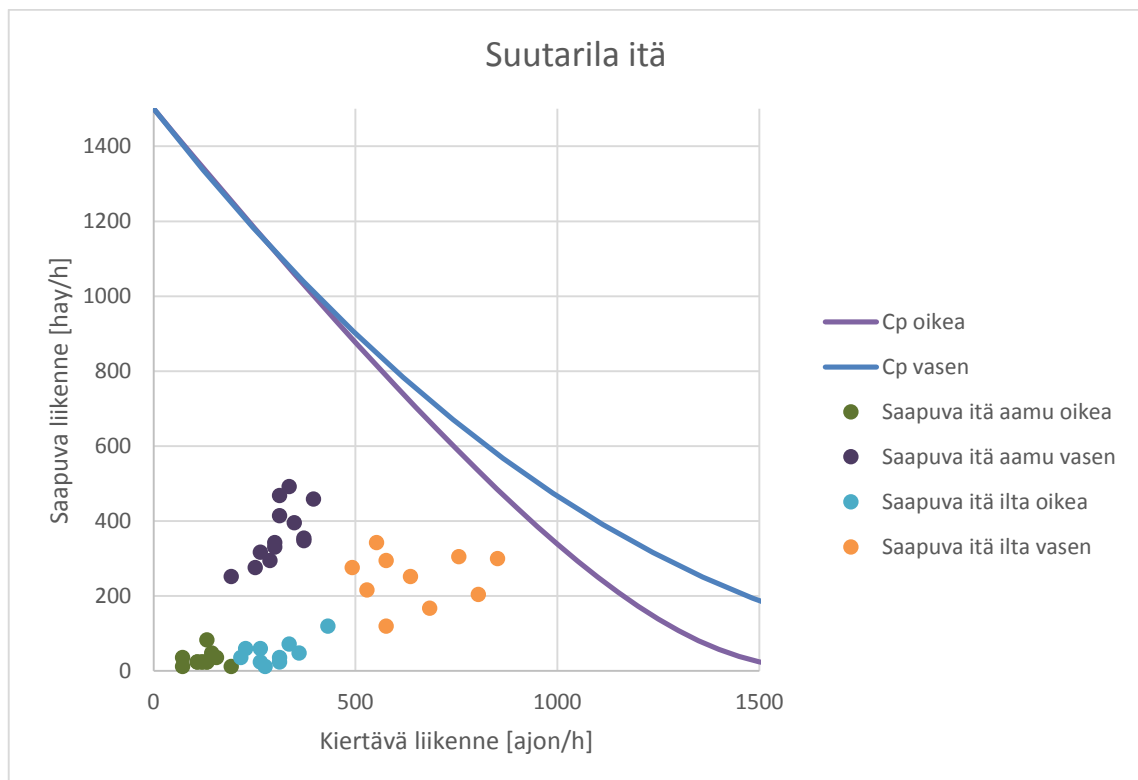
Suutarilan kiertoliittymä oli vähäliikenteisin kaikista tutkituista liittymistä. Teoreettinen välityskyky ei ylittynyt millään tulosuunnalla, eikä jonoja päässyt muodostumaan. Eteläinen ja pohjoinen haara ovat samankaltaisuutensa vuoksi samassa kuvaajassa.

Eteläisen suunnan iltaruuhkassa oikean kaistan liikennemääriltään suurimmat mitatut tulokset olivat lähimpänä teoreettista välityskykyä jääden kuitenkin noin 100 hay/h sen alle (kuva 73).



Kuva 73 Suutarilan 2-kaistaisen kiertoliittymän eteläisen ja pohjoisen haaran välityskyky kaistakohtaisesti suomalaisen menetelmän mukaan sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla ja illalla 2.10.2014.

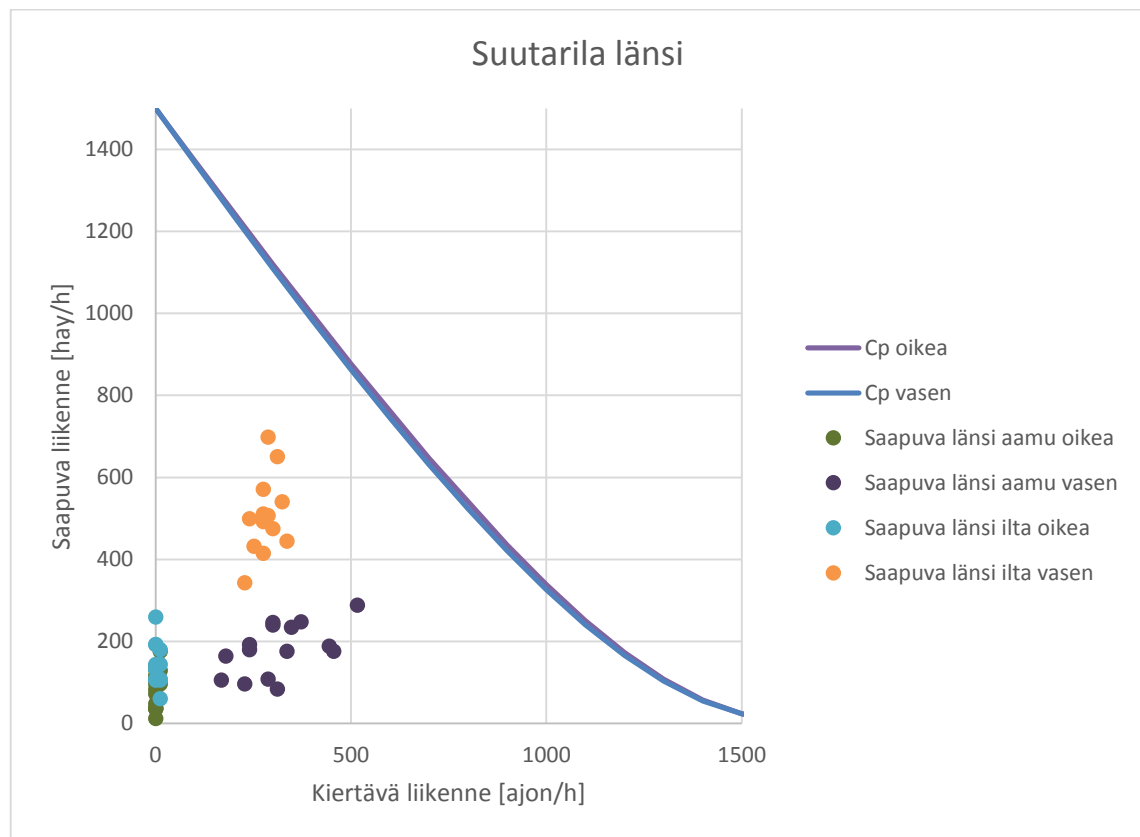
Suutarilan itäisen haaran liikenne oli melko vähäistä. Vasenta saapuvaa kaistaa käytettiin enemmän kuin oikeaa. Kuvasta 74 huomataan, että molempien kiertävien kaistojen yhteenlaskettu liikennemäärä (saapuva itä ilta vasen) oli kuitenkin iltaruuhkassa suhteellisen suuri.



Kuva 74 Suutarilan 2-kaistaisen kiertoliittymän itäisen haaran välityskyky kaistakohtaisesti suomalaisen menetelmän mukaan, kun kiertotila on 2-kaistainen ja ulommalla kiertävällä

kaistalla ajavien osuus on 40 % sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla ja illalla 2.10.2014.

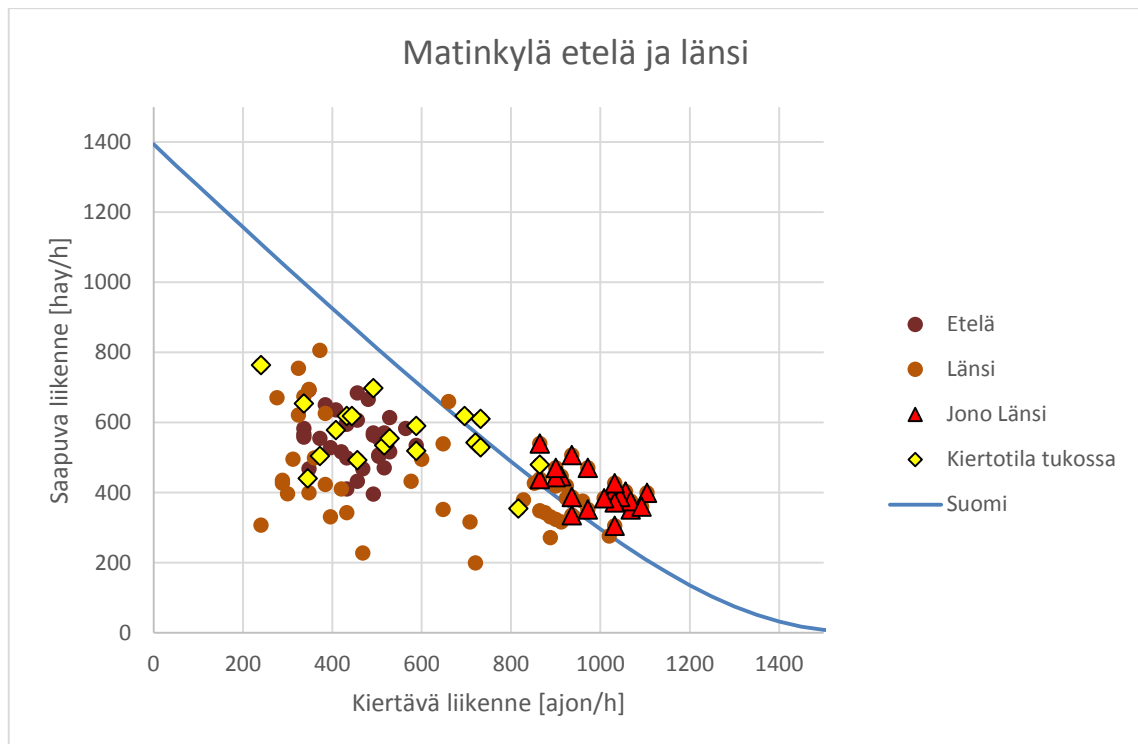
Kuvasta 75 näkyy, että läntisen haaran molemmilla kaistoilla jäi kapasiteettia käyttämättä. Kiertävää ulommaista kaistaa käytti vain 1 % kiertävistä ajoneuvoista, mikä johtaa vasemman saapuvan kaistan teoreettisen välityskyvyn pieneneeseen (vertaa edelliseen kuvaan 74).



Kuva 75 Suutarilan 2-kaistaisen kiertoliittymän läntisen haaran välityskyky kaistakohtaisesti suomalaisen menetelmän mukaan, kun kiertotila on 2-kaistainen ja ulommalla kiertävällä kaistalla ajavien osuus on 1 % sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla ja illalla 2.10.2014.

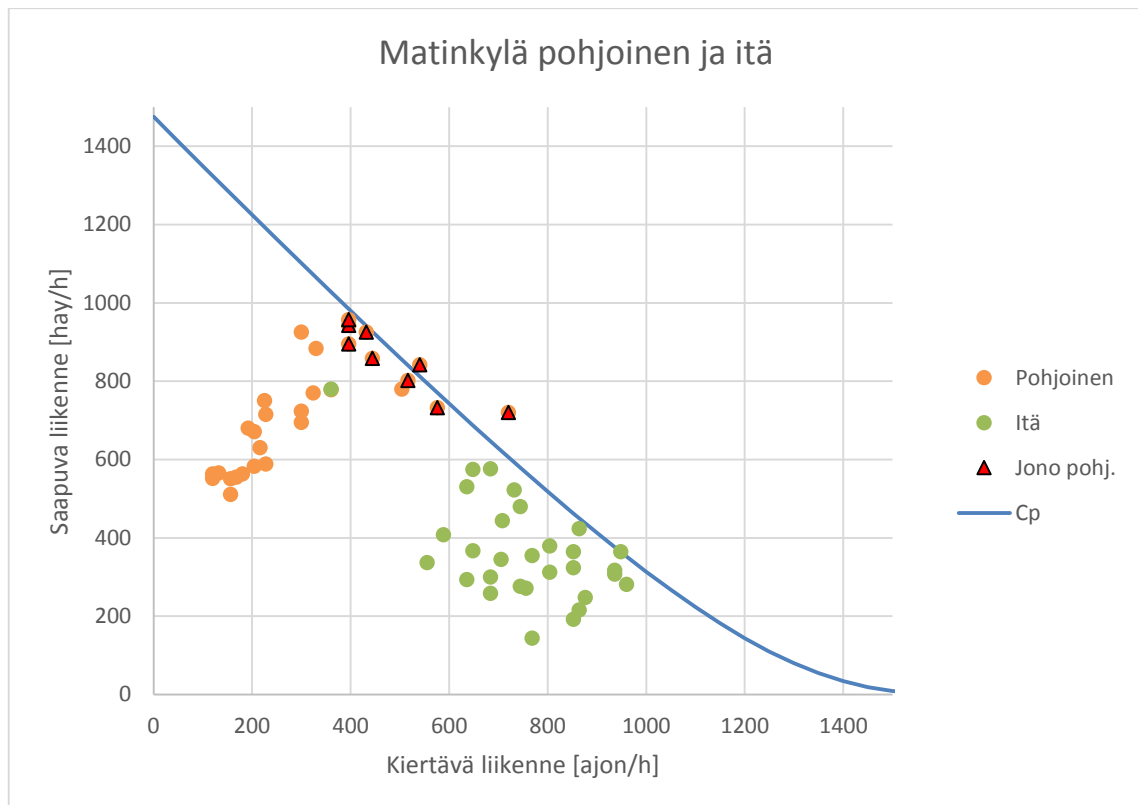
#### 4.2.5 Matinkylä

Matinkylän kiertoliittymä osoittautui haasteelliseksi välityskykytutkimuksen kannalta. Liittymän kiertotila oli sekä ilta- että aamuruuhkassa monta kertaa tukkeutunut, joten mittaus-havainnoista saatu välityskyky jäi todennäköisesti pienemmäksi kuin mitä se olisi voinut olla. Suomalaisen laskentatavan mukaan saatu teoreettinen välityskyky kuitenkin ylittyi useassa 5 min jaksossa. Kuvassa 76 on eteläisen ja läntisen haaran tulosuunnat yhdistettyinä, koska näissä molemmissa otettiin huomioon suojatien vaikutus. Välityskykykuvaajassa on arvioitu keskimääräiseksi kevyen liikenteen määräksi 60 kpl/h, eli viisi ylitystä viidessä minuutissa.



Kuva 76 Matinkylän kiertoliittymän eteläisen ja läntisen haaran välityskyky suomalaisen menetelmän mukaan, kun suojatien ylittävää kevyttä liikennettä on 60 jk/h sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla ja illalla 24.9.2015.

Matinkylän pohjoinen ja itäinen haara ovat yhdistettyinä kuvassa 77. Pohjoisesta tulosuunnasta olisi ollut jatkuva jono lähes koko iltaruuhkan tarkkailujakson ajan, mutta ennen liittymää olevat liikennevalot katkoivat liikennettä. Pohjoisen haaran kiertotila oli välillä tukkeutunut iltaruuhkassa, mutta vain hetkellisesti. Itäisen haaran kiertotila oli aamuruuhkassa täysin tukkeutunut lähes jokaisella tutkitulla aikajaksolla, mutta saapuvista ajoneuvoista ei muodostunut yhtään viiden minuutin jatkuvaa jonoa. Pohjoisella tulosuunnalla teoreettinen välityskyky ylittyi kahdessa tutkitussa aikajaksossa.



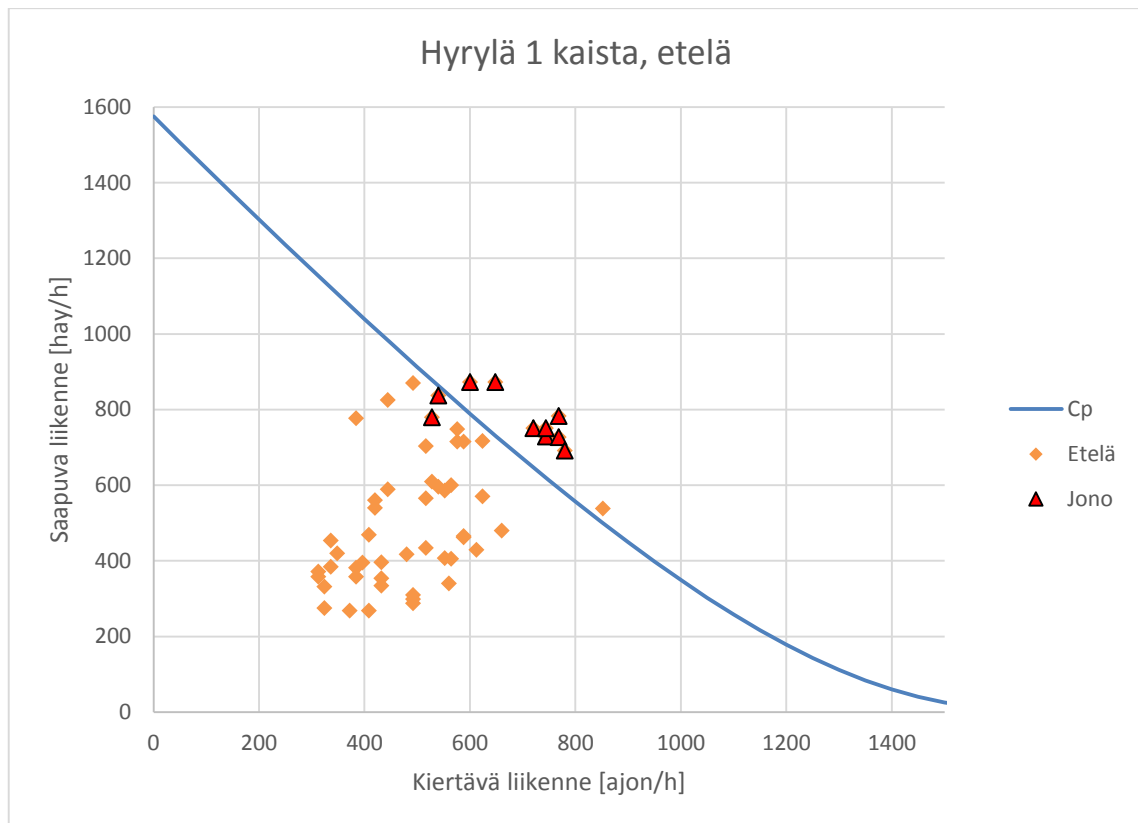
Kuva 77 Matinkylän kiertoliittymän pohjoisen ja itäisen haaran välityskyky suomalaisen menetelmän mukaan sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla ja illalla 24.9.2015.

#### 4.2.6 Hyrylä pohjoinen

Hyrylän pohjoinen kiertoliittymä oli hyvä kohde välityskykytutkimukselle. Liittymässä oli jatkuvia jonoja, mutta kiertotila ei tukkeutunut. Iltaruuhkassa etelästä saapuva liikenne ehti muodostaa pitkän jonon, mutta jonon purkautuminen vaikutti kovin verkkaiselta. Tässä suunnassa on loiva (2,3 %) ylämäki kiertoliittymään saavuttaessa, minkä vaikutus otettiin huomioon raskaan liikenteen korjauskertoimessa.

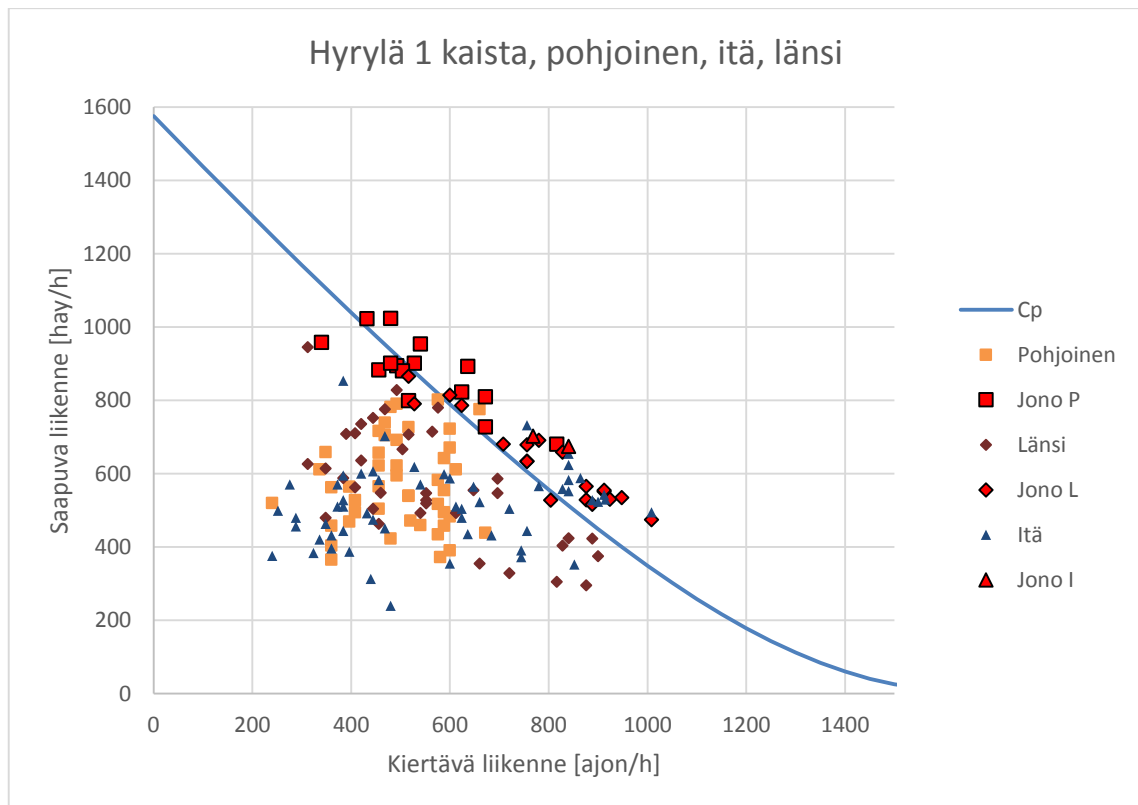
Edellä mainitusta syystä eteläisen haaran välityskykykuvaaja otettiin erilleen muista (kuva 78), sillä kaltevuus yhdistettynä haaran melko suureen raskaan liikenteen osuuteen vaikuttaa raskaan liikenteen korjauskertoimeen kasvattaen sitä. Teoreettinen välityskyky ylittyi yhdeksässä tutkitussa aikajaksossa.





Kuva 78 Hyrylän 1-kaistaisen kiertoliittymän eteläisen haaran välityskyky suomalaisen menetelmän mukaan sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla ja illalla 28.10.2015.

Tulosuunnat itä, länsi ja pohjoinen yhdistettiin, koska sekä liikennemäärät että muut parametrit olivat samaa suuruusluokkaa näissä kaikissa. Jatkuvia jonoja muodostui joka tulosuuntaan, ja myös teoreettinen välityskyky ylittyi kaikilla suunnilla. Kuvasta 79 voidaan havaita, että teoreettinen välityskyky ylittyi myös toisinaan silloin kun jatkuvaa jonoa ei ollut.



Kuva 79 Hyrylän 1-kaistaisen kiertoliittymän pohjoisen, itäisen ja läntisen haaran välityskyky suomalaisen menetelmän mukaan sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla ja illalla 28.10.2015.

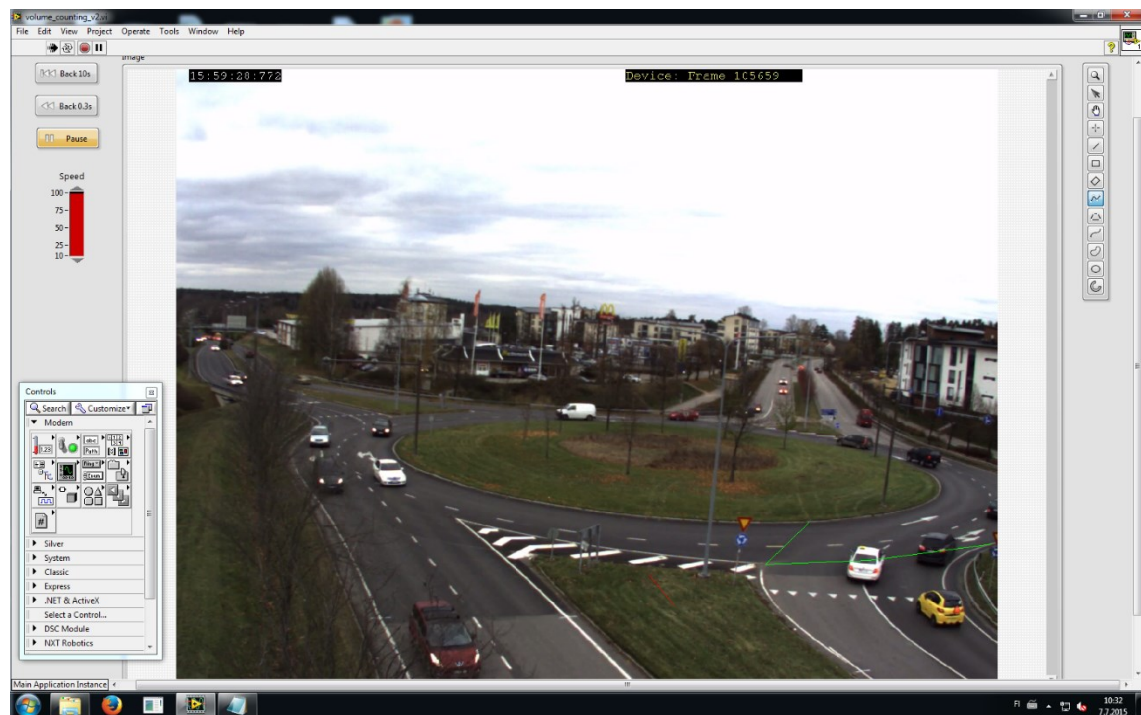
### 4.3 Kaistajakauma

Osittain kaksikaistaisen kiertoliittymien sujuva toiminta perustuu siihen, että ajoneuvon kuljettaja valitsee poistumissuunnan kannalta oikean kaistan jo ennen liittymään ajamista. Osittain kaksikaistaisissa kiertoliittymissä ei kuitenkaan mikään estä kaistan vaihtamista kiertotilassa, mutta sitä tapahtui melko vähän. Kaistajakaumat vaihtelivat paljon.

Esimerkiksi Hyrylän eteläisessä kiertoliittymässä (Liite 1, s. 1–2) saapuva liikenne jakautui pohjoisessa ja eteläisessä haarassa melko tasan kaistojen kesken, mutta läntisessä haarassa oikeaa kaistaa käytettiin huomattavasti enemmän kuin vasenta, vaikka molemmilta saapuvilta kaistoilta sai kääntyä etelän suuntaan. Suositummaksi kaistan teki luultavasti se, että oikeaa kaistaa käytettäessä pitää väistää vain ulommaista kaistaa käyttäviä kiertäviä ajoneuvoja. Myös raskaan liikenteen suuri osuus vasemmalla saapuvalla kaistalla saattoi vaikuttaa jakaumaan. Kuljettaja saattaa valita oikean kaistan myös ajattelematta, jos tarkoitus on kääntyä oikealle. Vaikka kaistalla olisikin jonoa ja toinen kaista olisi tyhjä.

Myös kiertävän liikenteen osalta Hyrylän eteläisessä liittymässä liikenne jakautui melko tasan molempien kiertävien kaistojen kesken molemmissa haaroissa, joissa on kaksi kiertävää kaistaa. Ajoneuvojen kaistankäytön seuranta hankaloitti välillä se, ettei ollut ihan selvää kummalla kaistalla ajoneuvo on tiedonkeruupisteessä. Tätä oikaisemista tapahtui varsinkin hiljaisina aikoina, mutta myös vilkkaan liikenteen aikana.

Saapuvan liikenteen osalta kaistaviivojen ylitystä tapahtui usein. Kuvassa 80 on yksi monista tilanteista, joissa kuljettajan käytös olisi voinut johtaa vaaratilanteeseen. Tässä kuvassa kiertotilaan saapuva valkoinen ajoneuvo on puoliksi molemmilla kaistoilla.



Kuva 80 Kaistaviivan ylitys.

#### 4.4 Kriittinen aikaväli

Kriittisen aikavälin arvioinnissa käytettiin sekä Raffin menetelmää että suurimman uskottavuuden (maximum likelihood) menetelmää. Molemmilla menetelmillä saadut tulokset ovat samaa suuruusluokkaa keskenään ja johtopäätökset tehtiin näiden molempien perusteella. Saadut kriittisen aikavälin estimaatit tarkistettiin sijoittamalla ne suomalaiseseen välityskyvyn laskentamenetelmään, mistä saatiin selville ovatko välityskykykuvaajat ”oikeanlaisia” mitaushavainnoista saaduilla kriittisen aikavälin arvoilla.

Suurimman uskottavuuden menetelmällä estimaattia määrittäessä apuna oli Troutbeckin vuonna 1992 kehittämä Visual Basic -koodi Excelissä. Kyseinen ohjelma pystyi kuitenkin käsittelemään vain tuhat havaintoparia kerrallaan, joten osa tuloksista jaettiin useampaan erään. Tällä ei ollut kuitenkaan käytännössä merkitystä. Työn edetessä huomattiin myös toinen ongelma. Jos ajoneuvo ei hylännyt yhtään aikaväliä, suurimman uskottavuuden menetelmän teorian mukaan hylätyn aikavälin pituus on 0 sekuntia. Tämä oli kuitenkin osassa tapauksista liian pieni arvo ja sitä jouduttiin kasvattamaan 0,1–0,5 sekuntia, että ohjelma pystyi laskemaan kriittisen aikavälin estimaatin. Tämän muutoksen vaikutus estimaattiin ei ollut kuitenkaan suuri. Asiaa tutkittiin, ja taulukossa 4 on esitetty, miten kyseinen muutos vaikuttaa estimaatin suuruuteen. Pienelläkään otoksella vaikutus ei ole suuri.

*Taulukko 4 Suurimman hylätyn aikavälin minimiarvon asettamisen vaikutus suurimman uskottavuuden menetelmän kriittisen aikavälin estimaattiin (otoskoko 94 ajoneuvoa).*

Lyhin suurin hylätty aikaväli (s)	T <sub>c</sub> (s)
0,0	2,83
0,1	2,83
0,2	2,83
0,3	2,82
0,4	2,81
0,5	2,81

Kirkkonummen läntisen haaran iltaruuhkan tuloksia ei voitu käyttää täydellä potentiaalillaan, sillä videokamerasta ei voitu havaita mihin suuntaan saapuva ajoneuvo oli matkalla liittymisen jälkeen, eli kumman kiertävän kaistan se valitsi. Näin ollen ei voitu varmasti tietää, väistykö ajoneuvo molempien kiertävien kaistojen liikennettä vai ainoastaan ulommaisesta kaistan. Tehtiin kuitenkin melko turvallinen oletus, että ajoneuvo väistää ainakin ulommaisesta kiertävän kaistan liikennettä, koska sisemmällä kiertävällä kaistalla liikennettä oli suhteellisen vähän. Kirkkonummen itäisestä haarasta ei myöskään saatu aikavälituloksia iltaruuhkasta, koska kiertotila ei näkynyt videokuvassa.

Matinkylän kiertoliittymän kriittisen aikavälin estimoinnista jouduttiin jättämään aamuruuhkan tulokset kokonaan pois. Kiertoliittymä oli liian usein täysin tukossa, joten yksittäisiä aikavälejä, joita olisi voitu käyttää estimoinnissa, ei selvitetty. Aamuruuhkan kriittiset aikavälit estimoitiin kuitenkin Raffin menetelmällä, ja tulokset on esitetty taulukossa 5. Tulokset ovat järjestyksessä ruuhkautuneimmasta kiertotilasta vähiten ruuhkautuneeseen.

*Taulukko 5 Matinkylän pois jätetyt tulokset kriittiselle aikavälille Raffin menetelmällä aamuruuhkasta.*

Haara	T <sub>c</sub>	Käyttöaste
Itä	3,4	Eniten ruuhkautunut
Etelä	3,2	
Länsi	2,9	
Pohjoinen	2,5	Vähiten ruuhkautunut

Matinkylän iltaruuhkasta saatiin paljon käytettävää dataa, mutta suojateistä johtuvaa kiertotilan tukkeutumista kuitenkin esiintyi läntisessä haarassa, mikä saattoi johtaa siihen, että suurimman uskottavuuden menetelmä ei löytänyt estimaattia kriittiselle aikavälille. Toisaalta, Matinkylän liittymässä esiintyi eniten epäjohdonmukaisuutta suurimman uskottavuuden menetelmän kannalta, koska todella suurella osalla tapauksista suurin hylätty aikaväli oli lyhyempi kuin hyväksytty aikaväli. Tämä johtuu erittäin todennäköisesti kiertoliittymän pienestä halkaisijasta. Esimerkiksi pohjoisesta haarasta kiertotilaan saapuvalla ajoneuvolla kesti noin 2–3 sekuntia läntisen haaran konfliktialueelle, joten läntisestä haarasta saapuvat ajoneuvot hyväksyivät huomattavan paljon lyhyitä aikavälejä.

Raffin menetelmällä tuloksia saatiin paremmin, mutta ei ilman ongelmia. Koska läntinen haara iltaruuhkassa oli tukossa useasti, näitä tuloksia tutkittiin tarkemmin. Vaikka iltaruuhkan kaikki tukkeutumisesta aiheutuneet erikoiset aikavälit jätettiin pois, jäi koko liittymän

kriittisen aikavälin estimaatin keskiarvoksi silti sama kuin tukkeutumisaikajankohdat mukaan luettuna.

Kaikkien kiertoliittymien jokaisesta haarasta ei saatu tuloksia suurimman uskottavuuden menetelmällä, johtuen todennäköisesti liian pitkistä eroista lyhyimpien ja pisimpien hyväksyttyjen aikavälien välillä. Nämä haarat ovat eriteltynä liitteessä 3.

Taulukossa 6 on esitetty osittain kaksikaistaisten kiertoliittymien mittaushavaintojen perusteella tehtyt estimaatit kriittiselle aikavälille. Kuten edellä mainittiin, taulukosta nähdään, miten suurimman uskottavuuden menetelmän otoskoot (N) eli hyväksyttyjen aikavälien lukumäärät ovat Suutarilassa ja Kirkkonummella paljon pienempiä kuin Raffin menetelmän otoskoot. Kriittisen aikavälin estimaatit ovat kuitenkin hyvin lähellä toisiaan ja näiden perusteella voidaan jo tehdä johtopäätöksiä.

*Taulukko 6 Osittain 2-kaistaisten kiertoliittymien kriittinen aikaväli: kaikki mitatut arvot.*

Paikka	N	Maximum likelihood	N	Raffin menetelmä
Suutarila	2586	2,7	3795	2,9
Kirkkonummi	3727	2,8	4341	2,9
Hyrylä	7875	2,7	7875	2,8
Keskiarvo		2,7		2,9
Aritmeettinen keskiarvo		2,7		2,9

Tuloksia päädyttiin tutkimaan tarkemmin siten, että ensin tarkasteltiin tilanteita, joissa on yksi saapuva kaista ja kaksi kiertävää kaistaa. Oikealle kääntyvien eli ulomman kiertävän kaistan valinneiden ajoneuvojen tulkittiin väistävän vain kyseisen kaistan liikennettä. Kierrotilan sisemmän kaistan valinneiden kohdalla päädyttiin tarkastelemaan molempien kiertävien kaistojen liikennettä. Taulukossa 7 on esitetty estimaatit oikealle kääntyville ajoneuvoille. Suutarilan kiertoliittymän mittaushavainnot on jätetty toisesta keskiarvosta pois, koska sen läntisen haaran oikean kaistan kiertävä liikenne oli niin vähäistä, että siitä saadut tulokset eivät ole vertailukelpoisia.

*Taulukko 7 Osittain 2-kaistaiset kiertoliittymät: oikealle kääntyvät, kun kiertäviä kaistoja on kaksi.*

Paikka	N	Maximum likelihood	N	Raffin menetelmä
Hyrylä	1384	2,9	1384	2,9
Kirkkonummi	84	2,9	84	2,9
Suutarila	40	3,2	290	3,8
Ilman Suutarilaa	A.k.a.	2,9	A.k.a.	2,9
Suutarila mukana	A.k.a.	2,9	A.k.a.	3,1

Kun kiertoliittymään saapui kaksi kaistaa, laskettiin molemmille kaistoille oma kriittinen aikaväli (taulukko 8).

*Taulukko 8 Osittain 2-kaistaisten kiertoliittymien kriittinen aikaväli: saapumiskaistoittain, kun yksi kiertävä kaista*

Saapumiskaista	N	Maximum like- lihood	N	Raffin menetelmä
Oikea	6424	2,7	6831	2,8
Vasen	4594	2,7	5208	2,8

Jos kiertäviä kaistoja oli kaksi ja saapumiskaista oli vasen, laskettiin kriittinen aikaväli tällekin tapaukselle erikseen (taulukko 9).

*Taulukko 9 Osittain 2-kaistaisten kiertoliittymien kriittinen aikaväli: yksi tai vasemmanpuoleinen saapumiskaista, valittava sisempi kiertävä kaista*

Saapumiskaista	N	Maximum likelihood	N	Raffin menetelmä
Vasen tai 1 kaista	1522	2,7	2074	2,8

Taulukossa 10 on esitetty kriittinen aikavälin estimaatin riippuvuus väistettävän (kiertävän) ajoneuvon kaistasta.

*Taulukko 10 Osittain 2-kaistaisten kiertoliittymien kriittinen aikaväli: yksi saapuva kaista, kaksi kiertävää kaistaa*

Ulkokaista				Sisäkaista		
Yksi saapuva kaista	N	Maximum likelihood	Raffin menetelmä	N	Maximum likelihood	Raffin menetelmä
	127	3,0	2,9	169	2,9	2,8

Yksikaistaisista kiertoliittymistä kriittinen aikaväli laskettiin kaikille haaroille yhdellä tavalla. Tulokset ovat taulukossa 11.

*Taulukko 11 Yksikaistaisten kiertoliittymien kriittinen aikaväli.*

Paikka	N	Maximum likelihood	N	Raffin menetelmä
Matinkylä	3313	2,3	4697	2,5
Hyrylä	9194	2,6	10298	2,7
Keskiarvo		2,5		2,6
Aritmeettinen keskiarvo		2,5		2,6

Hyväksytyjen ja suurimpien hylättyjen aikavälien kertymäfunktiot liittymäkohtaisesti on esitetty liitteessä 7.

## 4.5 Purkautumisaikaväli

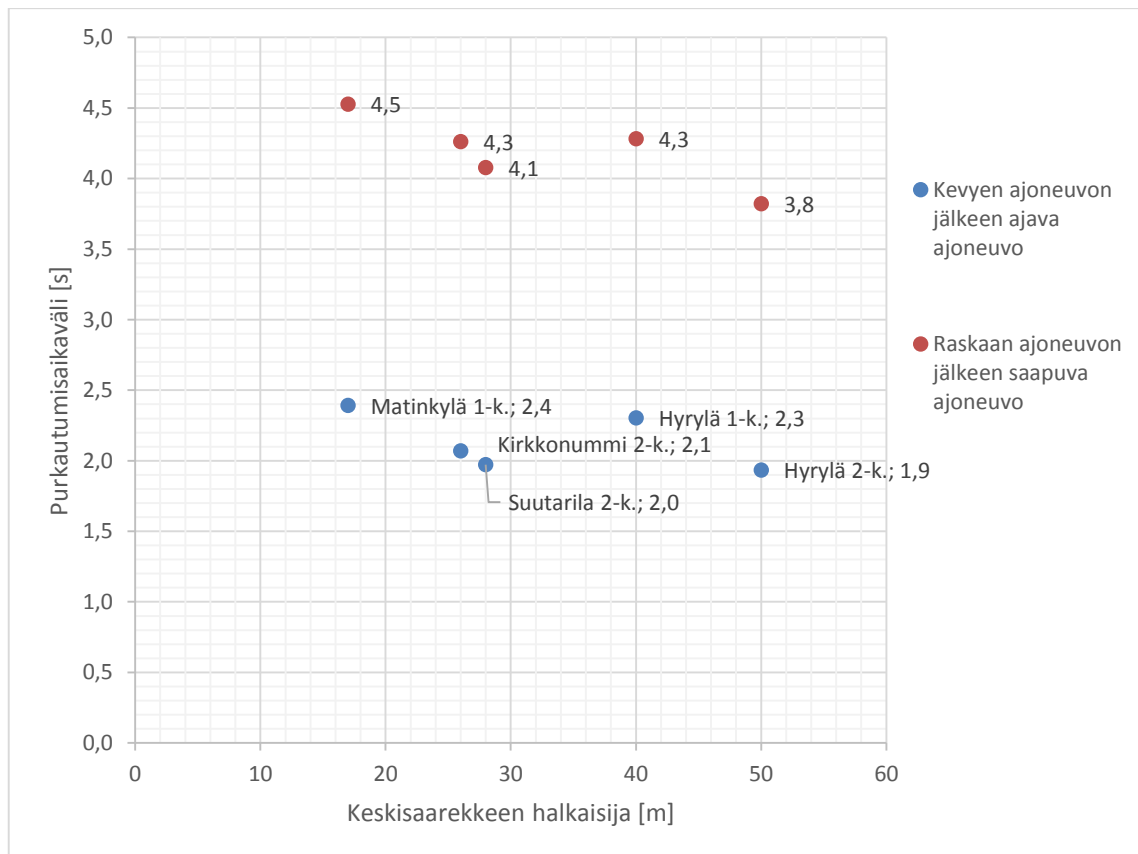
Seuranta- eli purkautumisaikaväliä määritettäessä päädyttiin ottamaan kiertoliittymäkohtaisesti keskiarvo mittaushavainnoista. Tulokset vaihtelivat kaistojen ja tulosuuntien perusteella, mutta otanta jäi melko pieneksi näin tarkkaan analyysiin. Näin ollen niistä ei voi tehdä tarkempia päätelmiä. Kaikki erikseen lasketut purkautumisaikavälit ovat kuitenkin nähtävillä liitteessä 2, josta löytyy myös haarat ja kaistat, joista vähäisen liikenteen vuoksi tuloksia ei saatu lainkaan.

Taulukossa 12 on esitetty kiertoliittymien mittaustulokset. Raskaat ajoneuvot ovat tuloksissa mukana tapauksissa, joissa raskas ajoneuvo ajaa kevyen ajoneuvon perässä, koska tällä ei havaittu olevan merkitystä lopputuloksen kannalta. Raskaan ajoneuvon jälkeen saapuvalle ajoneuvolle kuitenkin laskettiin purkautumisaikaväli erikseen, joten se ei ole mukana kevyiden ajoneuvojen keskiarvossa.

*Taulukko 12 Purkautumisaikaväli [s] saapumiskaistan ja keskisaarekkeen halkaisijan mukaan.*

Ajoneuvotyyppi, jonka jälkeen tutkittava ajoneuvo saapuu liittymään	Saapumiskaista			Keskisaarekkeen halkaisija				
	Vasen	Oikea	Osittain 2-kaistainen		1-kaistainen			
			1 saapuva kaista	50 m	28 m	26 m	40 m	17 m
Kevyt	1,9	2,0	2,0	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4
Raskas	4,1	4,2	3,8	3,8	4,1	4,3	4,3	4,5

Osittain kaksikaistaisille kiertoliittymien purkautumisaikavälille ei ole varsinaisesti olemassa taulukkoarvoja tällä hetkellä, mutta kuten taulukosta 12 voidaan huomata, keskisaarekkeen halkaisijalla vaikuttaisi olevan aikavälin pituuden suhteen merkitystä. Tämän vahvistaminen vaatisi kuitenkin useampia erikokoisia liittymiä tutkittavaksi. Kuva 81 havainnollistaa, miten yksikaistaisilla kiertoliittymillä vaikuttaisi olevan hieman pidempi purkautumisaikaväli.



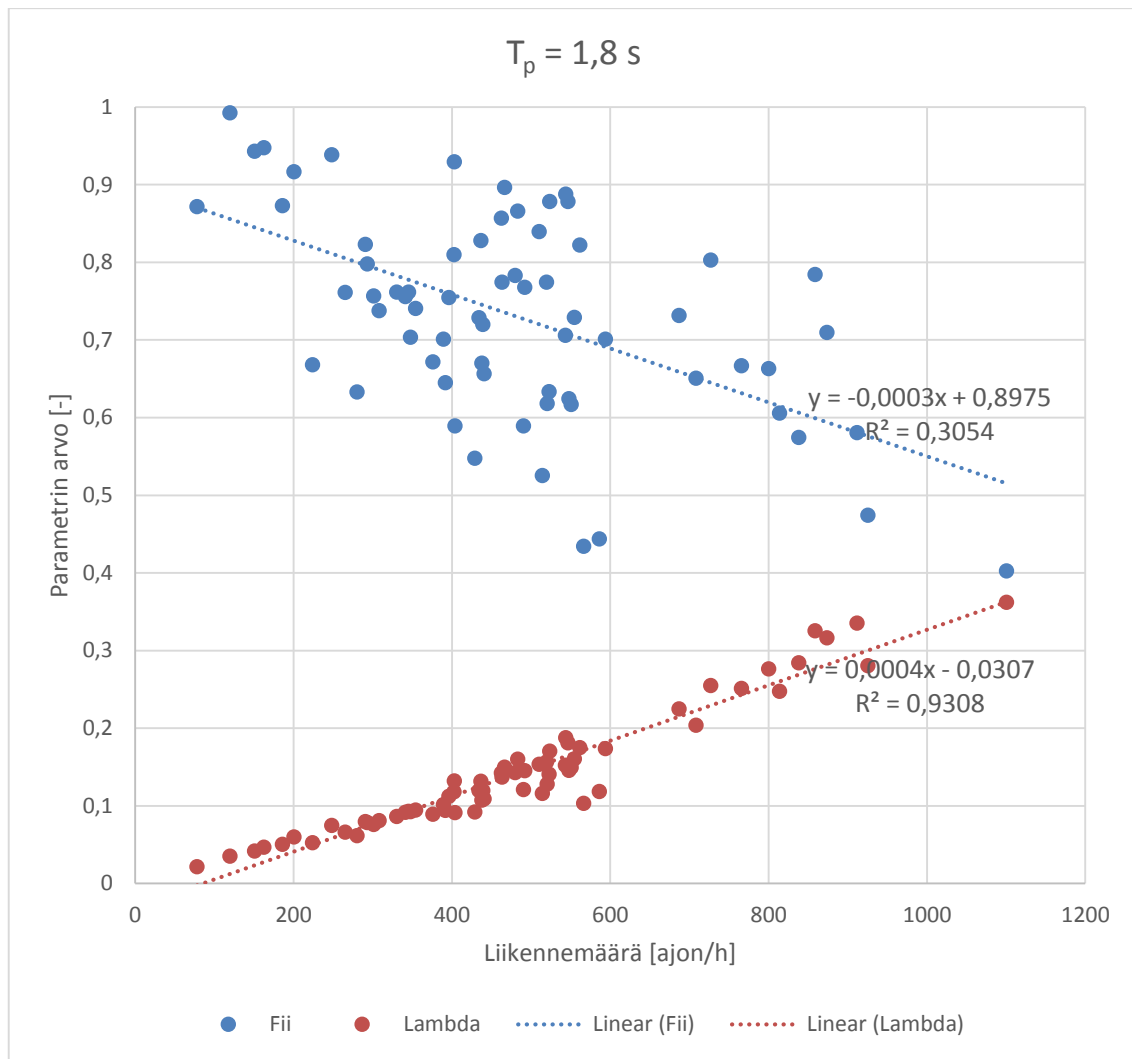
Kuva 81 Kaikista tutkituista liittymistä saadut purkautumisaikavälien keskiarvot sekä raskaan ajoneuvon perässä saapuvalle ajoneuvolle että kevyen ajoneuvon perässä saapuvalle ajoneuvolle.

#### 4.6 Kiertävän liikenteen minimiaikaväli

Kiertävän liikenteen minimiaikaväli saatiin sovittamalla M3-jakauma mittaushavaintojen kertymäfunktioon. Sovitus ei kuitenkaan sujunut ongelmitta ja minimiaikavälille jouduttiin asettamaan vakioarvo, jonka avulla saatiin muut parametrit estimoitua. Näin ollen voidaan sanoa, että minimiaikaväli ei ole sinänsä ainut mielenkiintoinen arvo tutkimuksessa, vaikka se onkin oleellinen teoreettisen välityskyvyn määrittämisessä.

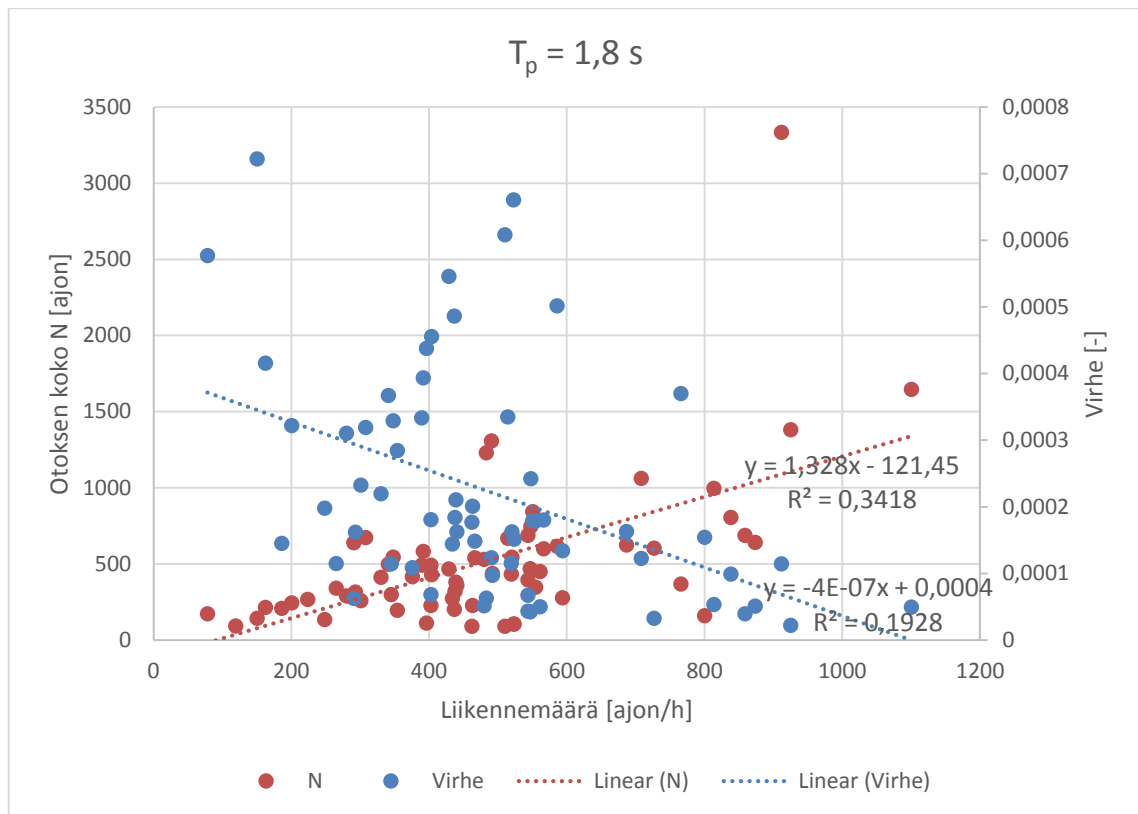
Kun tiedetään, mitä suuruusluokkaa minimiaikavälin tulisi olla, voidaan määrittää muut parametrit, joista voidaan tarkastella riippuvuuksia vapaiden ajoneuvojen osuuden  $\phi$ , skaalaparametrin  $\lambda$  ja liikennemäärän välillä. Kuvassa 82 on esitetty  $\lambda$  ja  $\phi$  liikennemäärän funktiona, kun aikavälin minimiarvoksi on asetettu (pakotettu) 1,8 s. Regressiosuorien yhtälöiden alapuolella näkyvä  $R^2$  on regressiomallin selitysaste. Se kertoo, kuinka suuren osuuden muuttujan vaihtelusta regressioanalyysin selittävät muuttujat voivat selittää (Laininen 2000).





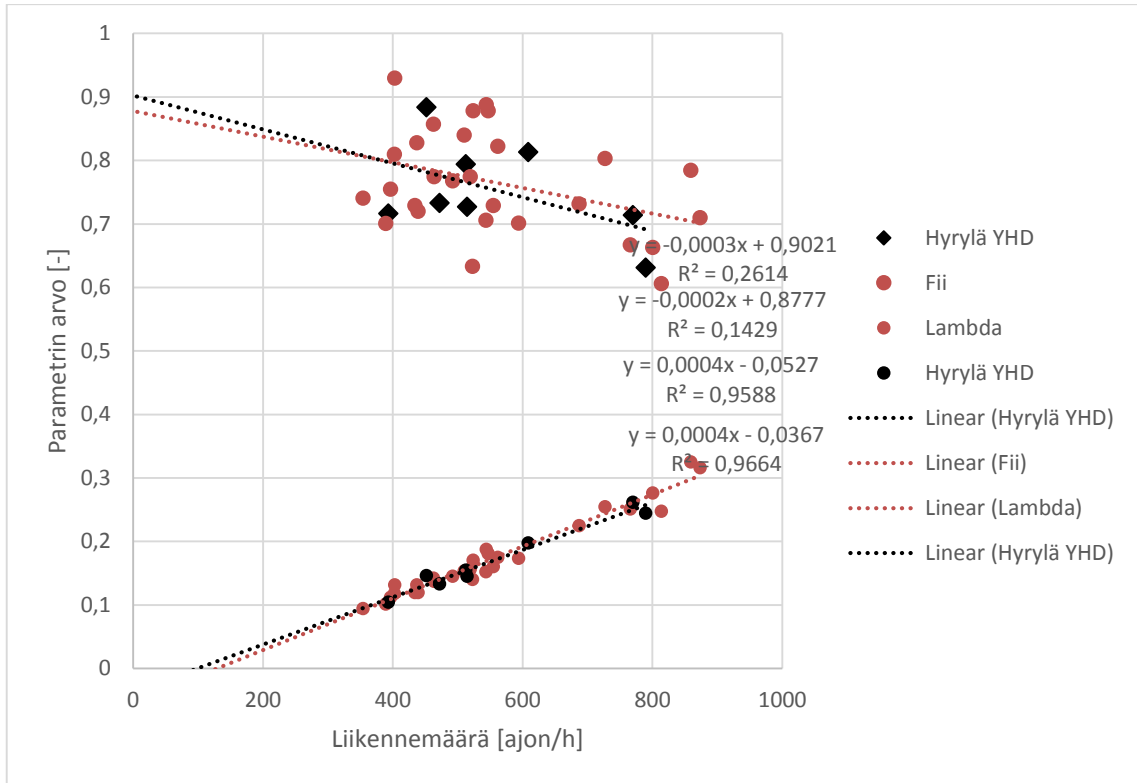
Kuva 82 Parametrien  $\lambda$  (lambda) ja  $\phi$  (fii) riippuvuus liikennemäärästä.

Virhe sovitukselle laskettiin käyttämällä residuaalien varianssia. Virhe laskettiin  $\xi$ :tä isomilla  $t$ :n arvoilla.  $\xi$ :n arvoksi asetettiin Hyrylän kaksikaistaisen kiertoliittymän itäisen haaran iltaruuhkassa 2,5 sekuntia, ja kaikissa muissa haaroissa ja liittymissä 4,0 sekuntia. Kuvassa 83 on esitetty virheen suuruus sekä otoskoko ( $N$ ) liikennemäärän funktiona. Regressiosuorista voidaan päätellä, virhe pienenee liikennemäärän kasvaessa.



Kuva 83 Otoksoon ja virheen riippuvuus liikennemäärästä.

Sovitukset tehtiin jokaiselle suunnalle ja tarkkailujaksolle erikseen. Hyrylän yksikaistaisen kiertoliittymän sekä aamu- että iltaruuhkan tulokset kokeiltiin yhdistää haaroittain. Kuvassa 84 näkyy, että kiertävän liikenteen minimiaikaväli on herkkä staattisuuden muutoksille, eli keskiarvo eri aikajaksoilta ei anna samaa tulosta kuin jokaiselle aikajaksolle erikseen laskettu arvo, jos liikennemäärissä on selvää vaihtelua aikajaksojen kesken. Kuvassa näkyvät mustat pisteet ovat kunkin haaran ilta- tai aamuruuhkan kiertävän liikenteen aikavälien yhdistetyistä mittaushavainnoista tehdyt estimaatit.



Kuva 84 Hyrylän 1-kaistaisen kiertoliittymän mittaushavainnoista lasketut parametrit  $\lambda$  ja  $\phi$  liikennemäärän funktiona. Haaroittain ja aamu-/iltaruuhkittain yhdistetyistä tuloksista lasketut parametrit ovat mustina pisteinä.

Teoriaosuudessa on esitetty tarkemmin, mitä parametreja muuttamalla estimaatit minimiaikaväleille tehtiin.

### **Samanaikainen numeerinen estimointi (SNE = Simultaneous numerical estimation)**

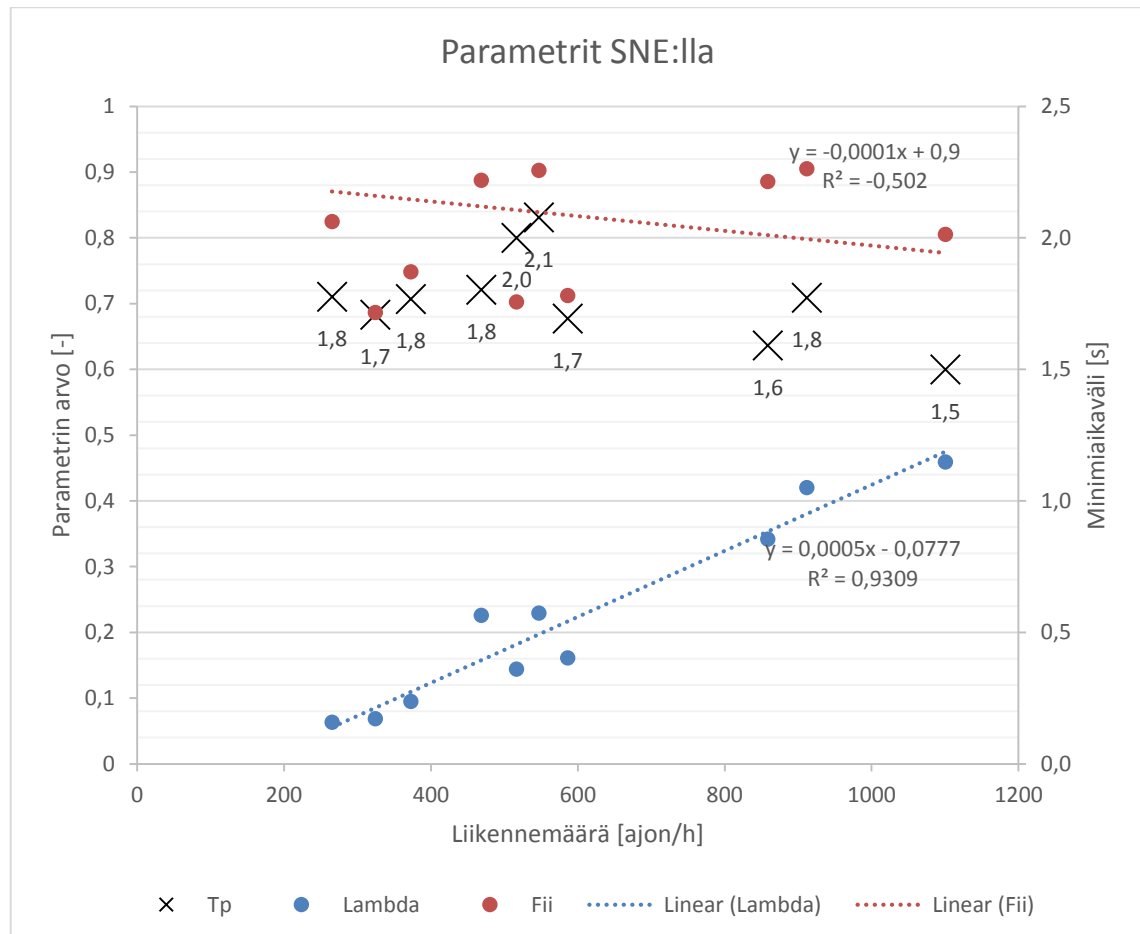
Sovitus tehtiin myös yksinkertaisesti muuttamalla parametreja, mikä muutti teoreettisen jakauman muotoa. Tämä tehtiin ratkaisemalla numeerisesti

$$t_p = \min \sum_{i=1}^n |H(x_i) - F(x_i)|, \quad (37)$$

jossa  $H(x_i)$  on mittaushavaintojen kertymäfunktion  $i$ :s arvo ja  $F(x_i)$  teoreettisen jakauman  $i$ :s arvo. Tämä ei ole kuitenkaan lähtökohtaisesti oikea tai kovin hyvä tapa, koska tämä menetelmä ei oletusarvoisesti ota huomioon, että empiirisen ja teoreettisen jakauman odotusarvon tulisi olla yhtä suuri. Odotusarvot kuitenkin pakotettiin yhtä suuriksi ja virheen neliösumma pyrittiin minimoimaan muuttamalla parametreja  $\lambda$ ,  $\phi$  ja  $\tau$  (eli  $t_p$ ). Tulokset olivat järkevää suuruusluokkaa, ja näin ollen menetelmä haluttiin esittää vaihtoehtoisena tapana, jos edellä esitelty sovitusten menetelmä ei jostain syystä onnistu. Arvot laskettiin kaikille liittymästä saaduille kiertävän liikenteen aikaväliarvoille, Matinkylän liittymässä haaroille, joissa kiertävä liikenne ei pysähdellyt sekä liittymien vilkkaimmalle haaralle. Kirkkonummen kiertoliittymässä ei tosin käytetty vilkkainta haaraa, koska sen liikennettä säätelivät liikenneva-

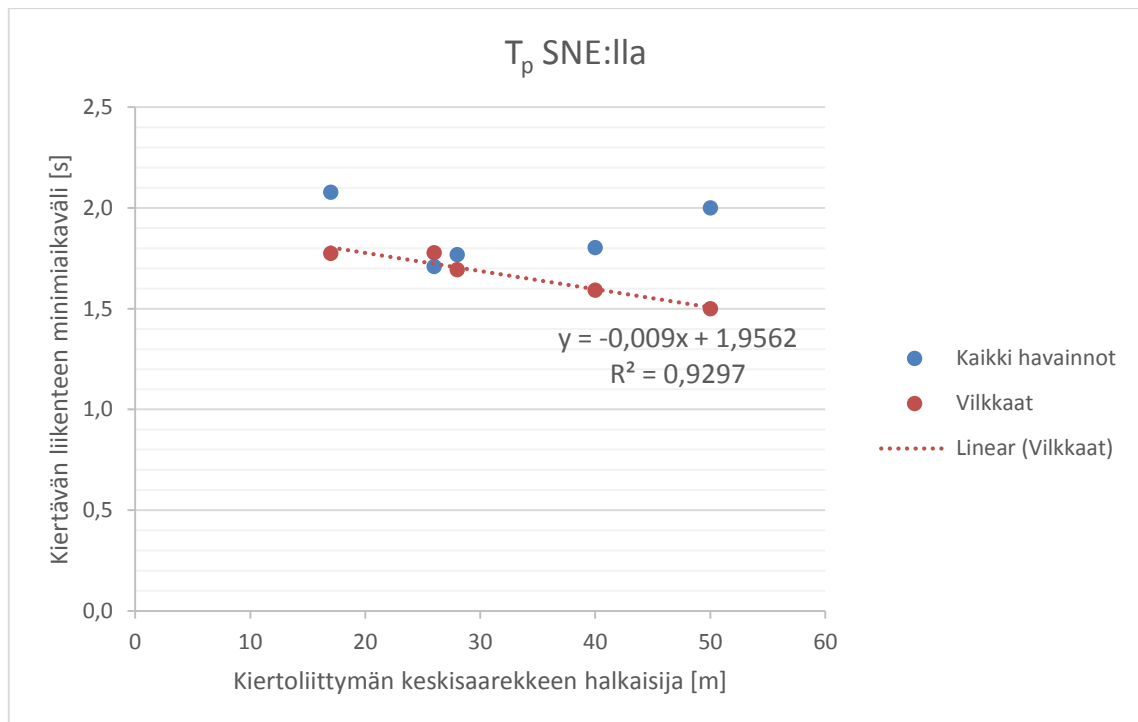
lot. Tässä kohteessa päädyttiin käyttämään pohjoisen haaran iltaruuhkan kiertävää liikennettä, koska siinä oli liittymän vakain liikennevirta. Tämän haaran kiertävän liikenteen määrä oli noin puolet vilkkaimman haaran liikennemäärästä.

Kuvassa 85 on esitetty  $\lambda$  ja  $\phi$  liikennemäärän funktiona. Voidaan huomata selkeä riippuvuuden puute  $\phi$ :n ja liikennemäärän välillä ( $R^2 = -0,502$ ).  $\phi$ :n arvoihin sovitettu suora on pakotettu kulkemaan pisteen (0;0,9) kautta, että se kulkisi samansuuntaisesti kuin kuvassa 82, jossa  $\phi$  saa uskottavampia arvoja. Minimiaikavälin asteikko on oikeanpuoleisella pystyakselilla, mutta lasketut minimiaikaväliarvot ovat merkittynä myös kuvaajaan rastien alle.



Kuva 85 Parametrien  $t_p$ ,  $\lambda$  ja  $\phi$  riippuvuus liikennemäärästä. Parametrit on laskettu sekä kunkin kiertoliittymän vilkkaimmasta haarasta että kaikista kiertoliittymän mittaushavainnoista. Vasemmalla pystyakselilla on asteikko parametreille ja oikealla pystyakselilla asteikko kiertävän liikenteen minimiaikavälille.

Tämän sovituksen tuloksista löytyi myös yhteys keskisaarekkeen halkaisijan kanssa. Tämän voi havaita kuvasta 86. Vilkkaan liikenteen minimiaikavälin estimaatteihin on sovitettu suora, jonka yhtälön vakiotermi on 0,0974 yksikköä pienempi ja kulmakerroin 0,0023 yksikköä pienempi kuin suomalaisessa menetelmässä (kaava 20). Suomalaisessa menetelmässä ei osittain kaksikaistaisille kiertoliittymille tosin estimoida kiertävän liikenteen minimiaikaväliä keskisaarekkeen halkaisijan perusteella, mutta tämän kokeilun perusteella asiaa voisi tutkia tarkemmin.



Kuva 86 Kiertävän liikenteen minimaiaikavälin estimaatti keskisaarekkeen halkaisijan funktiona, kun kaikki parametrit on optimoitu siten, että M3-jakauman ja empiirisen jakauman kertymäfunktioiden välinen ero minimoituu.

#### 4.7 Muita huomioita

Mittaushavainnoista pystyttiin tekemään paljon muitakin havaintoja kuin mitä tässä luvussa on esitetty. Ne eivät kuitenkaan olleet keskeisiä työn tavoitteiden kannalta, joten niihin ei paneuduta tarkemmin tässä työssä. Tulokset ovat kuitenkin nähtävillä liitteissä.

Koska työn kannalta oli tarpeellista selvittää milloin ovat kauimmin kestäneet jonot esiintyneet, tehtiin Exceliin funktio, jolla tieto saatiin selvitettyä. Liitteessä 5 on esitetty jonojen kestoja ja välityskykyä näiden jaksojen aikana. Oletusarvona on, että ajoneuvon katsotaan jonottaneen, jos se on saapunut odotustilaan korkeintaan 0,7 sekuntia kiertotilaan saapuneen ajoneuvon jälkeen. Jonojen kestot tässä kokeilussa vaihtelevat välillä 40 ja 80 sekuntia. Koska tässä käsitellään ainoastaan jonoutuneita aikajaksoja, joista on poimittu vielä sellaiset aikajaksot, joissa saapuvat ajoneuvot ajavat mahdollisimman tehokkaasti, on välityskyky selvästi tavanomaista suurempi. Tämä ei siis kuvasta teoreettista välityskykyä, vaan erittäin hetkellistä mitattua maksimi-arvoa.

Kriittisen aikavälin estimointiin on käytetty myös menetelmää, jossa tutkitaan, kuinka monta ajoneuvoa liittyy tietyn pituiseen aikaväliin. Tämän menetelmän on esittänyt saksalainen Siegloch vuonna 1973. Ruuhkautuneissa liittymissä tämä tieto otettiin esiin ja tulokset ovat liitteessä 6. Kriittisen aikavälin estimointiin ei tätä menetelmää kuitenkaan tässä työssä käytetty.

Kiertävän liikenteen ajonopeudet mitattiin kolmessa eri liittymässä. Liittymiksi valittiin ne, joissa keskisaarekkeeseen tehdyt merkinnät näkyivät parhaiten sekä kameran suuntaus oli sopiva. Liitteessä 4 on esitetty kiertävän liikenteen nopeusjakaumia. Suutarilan liittymän

ajonopeudet ovat jakautuneet niin laajalle alueelle, että keskisaarekkeen halkaisijan koon perusteella tehdyssä vertailussa päädyttiin käyttämään moodia, eli mikä (yhden km/h tarkkuudella) mitattu nopeus esiintyi useimmiten.

Jokaisesta liittymästä saadut hyväksytyjen sekä suurimpien hylättyjen aikavälien kertymäfunktio on esitetty liitteessä 7. Matinkylän tuloksista on jätetty aamuruuhkan mittaushavainnot pois. Kuvaajasta huomataan, miten vilkkaimmissa liittymissä kertymäfunktion arvo on huomattavasti suurempi jo yli 3 sekunnin hyväksytyillä aikavälillä.

Liitteessä 8 on esitetty, kuinka nopeasti ajoneuvo liittyi kiertotilaan, tietyn ajoneuvoluokan ajoneuvon jälkeen. Tulokset ovat loogisia.

## 5 Analyyttisten menetelmien ja kiertoliittymätyyppien vertailu

### 5.1 Vertailun lähtötiedot ja oletukset

Tässä luvussa verrataan 5 minuutin aikajaksojen liikennemääriä eri laskentamenetelmien mukaiseen välityskykyyn. Lisäksi lopussa vertaillaan kiertoliittymätyyppejä keskenään. Kuvissa näkyvissä käyrien selitteissä osassa on käytetty lyhenteitä. *Bovy* on hollantilainen, *HCM* on yhdysvaltalainen ja *Uusi HBS* on saksalainen menetelmä. Viimeksi mainitussa *Uusi* viittaa 2015 julkaistuun HBS:ään.

Analyttisiä menetelmiä vertailtaessa oli tehtävä joitain oletuksia, jotta tulokset olisivat olleet vertailukelpoisia keskenään. Osassa menetelmistä on lähtötietona kiertävän liikenteen määrä henkilöautoyksiköinä ja osassa ajoneuvoina tunnissa. Muut paitsi suomalainen menetelmä käyttävät kiertävän liikenteen määränä yksikköä hay/h, joten näihin menetelmiin muutos (ajon/h  $\rightarrow$  hay/h) tehtiin kunkin menetelmän välityskykyfunktioihin. Vaaka-akselilta saatavat ajon/h -arvot tuottavat siis vertailukelpoisia arvoja saapuvan liikenteen määräksi.

Välityskykykuvaajissa pisteillä merkityt mitatut saapuvat liikennemäärät on muutettu suomalaisen menetelmän mukaan ajoneuvoista henkilöautoyksiköiksi tunnissa (ajon/h  $\rightarrow$  hay/h). Näin ollen saapuvan liikenteen mitatut arvot (y-akseli) kuuluisivat olla Bovyyn ja HCM:ään verrattaessa  $-2,0-0,0$  % ja uuteen HBS:ään verrattaessa  $-0,4-0,5$  % erisuuruisia.

Osittain kaksikaistaisissa kiertoliittymissä sovellettiin suomalaista menetelmää siten, että jos tutkittavassa haarassa oli kaksi saapuvaa kaistaa ja yksi kiertävä kaista, käytettiin yksikaistaisen kiertoliittymän perusvälityskykyyn tarkoitettua kaavaa, ja vertailussa välityskyky vain kerrottiin kahdella. Jos sekä kiertäviä että saapuvia kaistoja oli kaksi, käytettiin vasemmalle saapuvalla kaistalla kaksikaistaisen kiertoliittymien menetelmää (kaksi väistettävää liikennevirtaa) ja oikealle saapuvalla kaistalla yksikaistaisen kiertoliittymien menetelmää (yksi väistettävä liikennevirta). Jos saapuvia kaistoja oli yksi ja kiertäviä kaistoja kaksi, käytettiin kaksikaistaisen kiertoliittymien menetelmää.

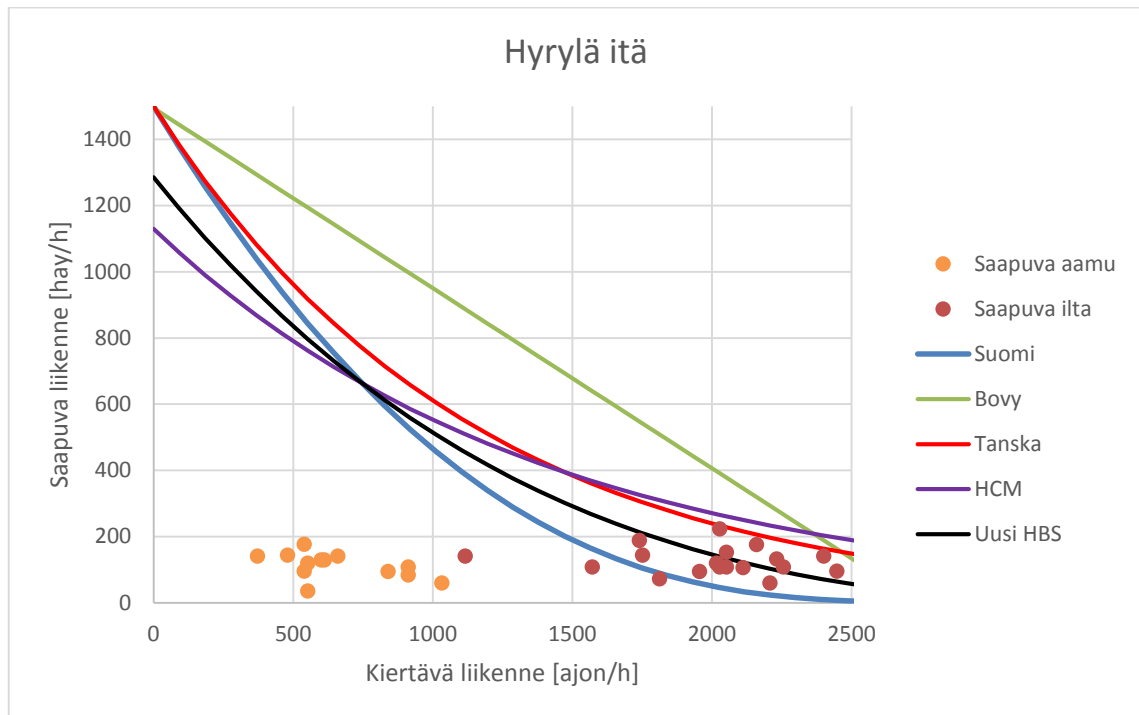
Tanskalaisessa menetelmässä kriittiselle aikavälille käytettiin samaa arvoa 4,3 s kuin suomalaisessa menetelmässä ja purkautumisaikavälille arvoa 2,4 s. Menetelmä ei anna likimainkaan samansuuntaisia tuloksia kuin suomalainen ja saksalainen menetelmä pienemmillä aikaväliparametrien arvoilla, joten tässä työssä käytettiin kaikissa vertailtavissa kiertoliittymissä edellä mainittuja arvoja.

Hollantilaisessa menetelmässä tarvittava haarasta poistuvan liikenteen määrä on esitetty kussakin kuvatekstissä. Poistuvan liikenteen määrä valittiin tarkkailujaksolta, jolla mitattu välityskyky oli suurimmillaan.

### 5.2 Hyrylä eteläinen

Hyrylän osittain kaksikaistaisen kiertoliittymän vertailussa saatiin mielenkiintoisia tuloksia. Kyseessä on vilkasliikenteinen kiertoliittymä, joka ei kuitenkaan ruuhkautunut kertaakaan siten, että yhdelläkään tulosuunnalla olisi ollut pidempikestoinen (5 min) jatkuva jono.

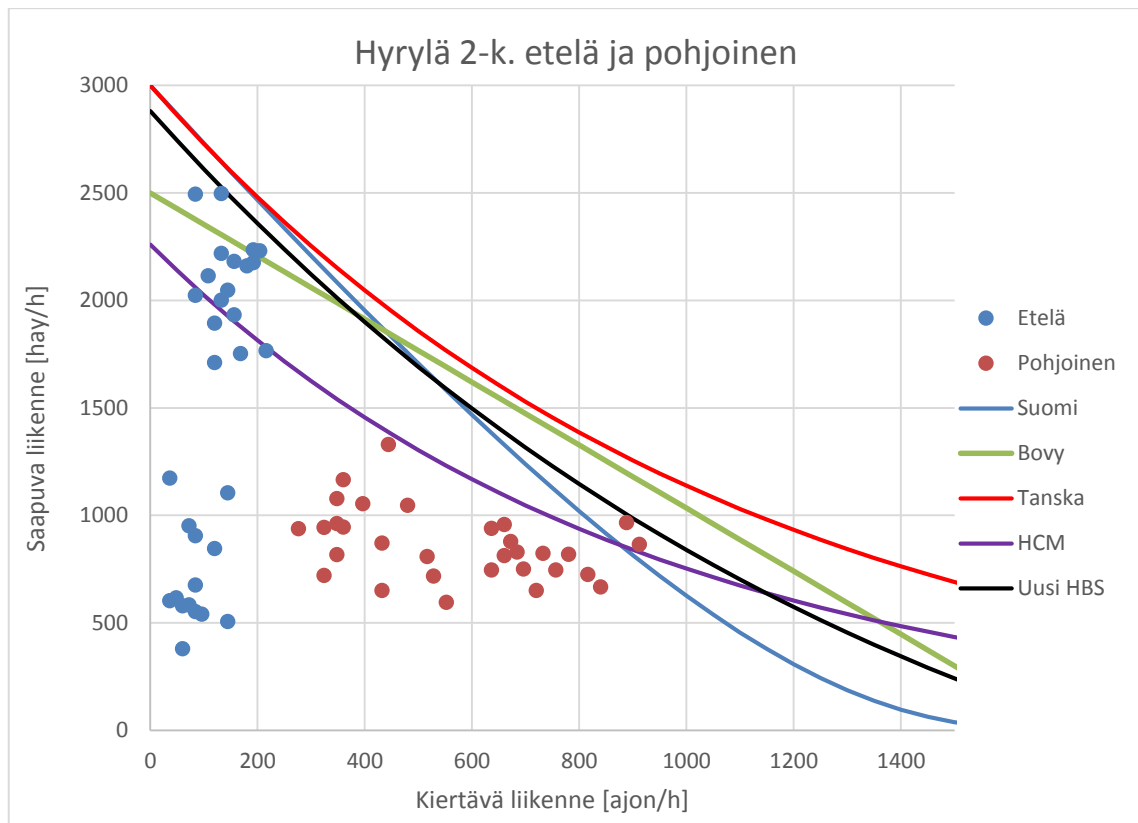
Itäisen haaran (kuva 87) kaikki mittaushavainnot iltaruuhkan osalta ovat jääneet tanskalaisen, hollantilaisen ja yhdysvaltalaisen menetelmän arvion alapuolelle. Suomalainen ja saksalainen menetelmä taas aliarvioivat hieman mitattua välityskykyä.



Kuva 87 Hyrylän 2-kaistaisen kiertoliittymän itäisen haaran välityskyky eri menetelmien mukaan, kun kiertotila on 2-kaistainen ja ulommalla kiertävällä kaistalla ajavien osuus on 46 %, kiertävän raskaan liikenteen osuus on 2 % ja liittymästä poistuva liikennemäärä 60 ajon/h sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla ja illalla 23.10.2014.

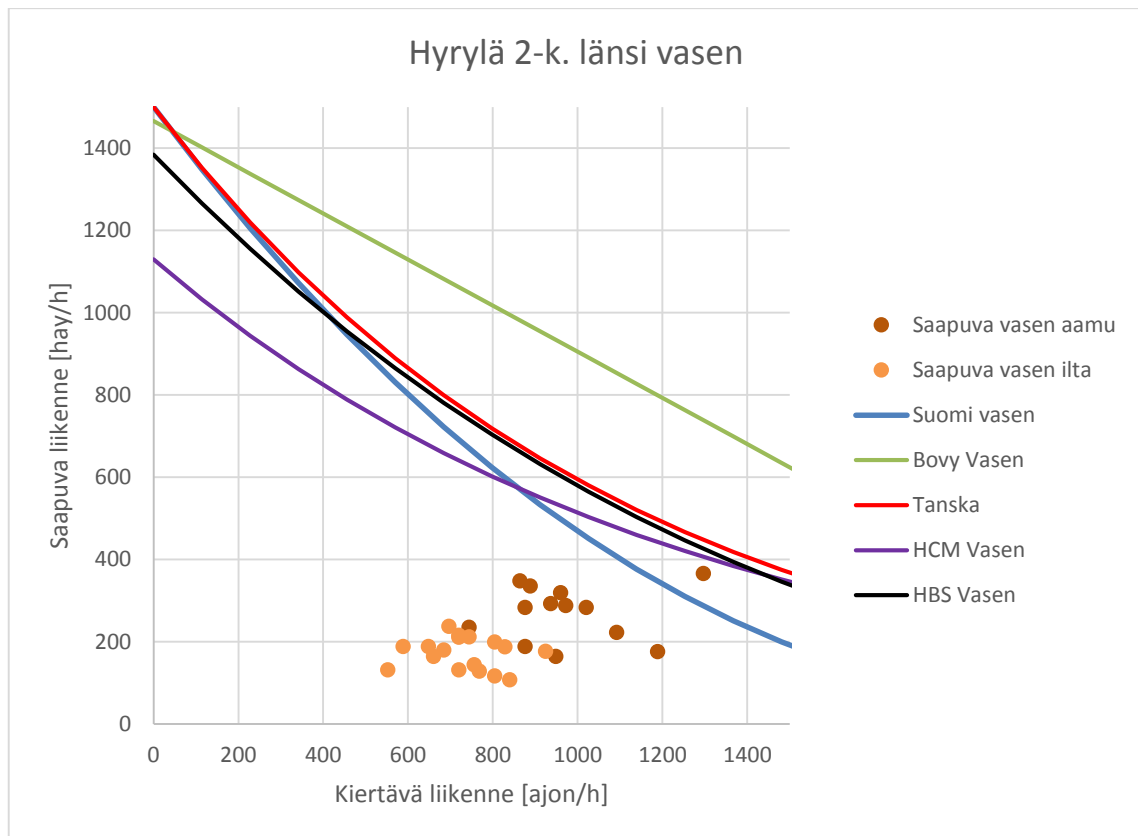
Kuvassa 88 on esitetty samaan kuvaajaan yhdistettynä sekä eteläisen ja pohjoisen haaran tulokset että molempien saapuvien kaistojen liikennemäärät summattuna. Kuvasta huomataan, että isommilla kiertävän liikenteen määrillä HCM ja suomalainen menetelmä aliarvioivat välityskykyä. Pienillä kiertävän liikenteen määrillä HCM ja hollantilainen menetelmä aliarvioivat välityskykyä.





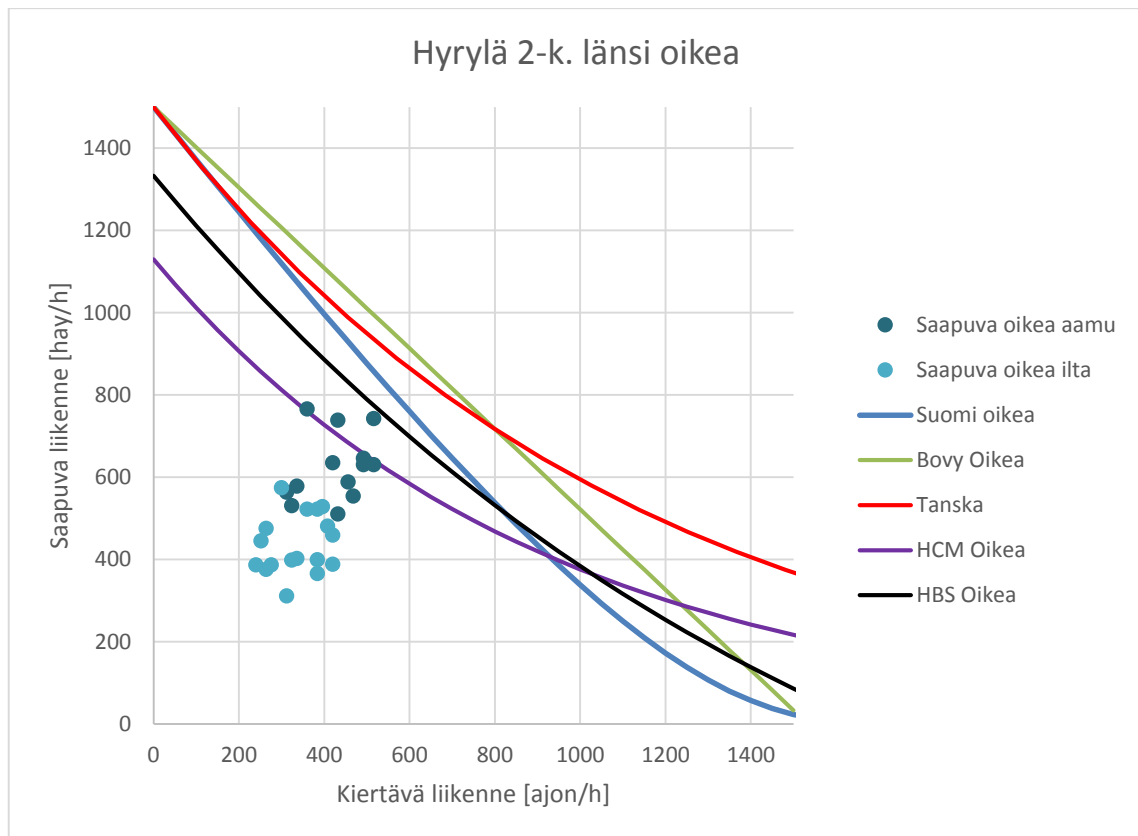
Kuva 88 Hyrylän 2-kaistaisen kiertoliittymän eteläisen ja pohjoisen haaran välityskyky eri menetelmien mukaan, kun kiertävän raskaan liikenteen osuus on 10 % ja liittymästä poistuva liikennemäärä 1446 ajon/h sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla ja illalla 23.10.2014.

Vasemmalla kaistalla läntisessä haarassa (kuva 89) oli yksi aikajakso, jolla suomalaisen menetelmän arvioima teoreettinen välityskyky ylittyi. Tässä laskettiin kiertävän liikenteen määräksi molempien kiertävien kaistojen liikennemäärät yhteen.



Kuva 89 Hyrylän 2-kaistaisen kiertoliittymän läntisen haaran vasemman saapuvan kaistan välityskyky eri menetelmien mukaan, kun kiertotila on 2-kaistainen ja ulommalla kiertävällä kaistalla ajavien osuus on 44 %, kiertävän raskaan liikenteen osuus on 5 % ja liittymästä poistuva liikennemäärä 366 ajon/h sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla ja illalla 23.10.2014.

Oikea kaista läntisessä haarassa (kuva 90) oli saapuvan liikenteen osalta hieman vilkkaampi. Ainut menetelmä, joka aliarvioi välityskykyä, oli HCM. Liikennemäärät olivat tässä melko pieniä, joten teoreettisen välityskyvyn ylittyminen oli poikkeavaa.

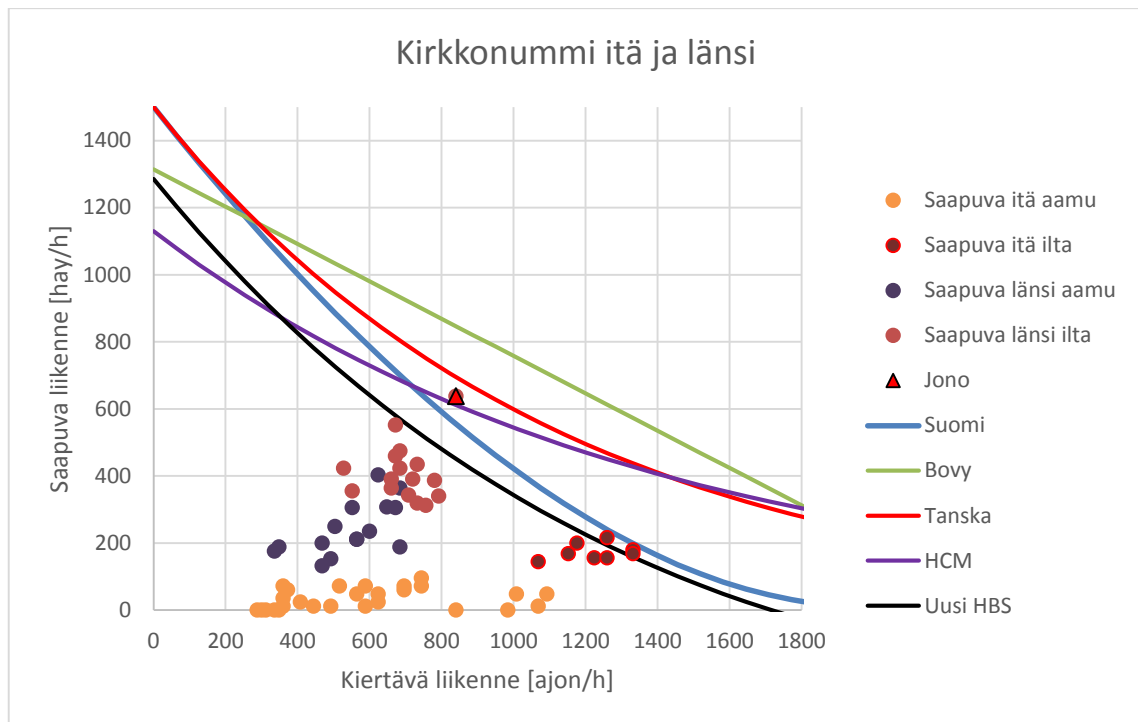


Kuva 90 Hyrylän 2-kaistaisen kiertoliittymän läntisen haaran oikean saapuvan kaistan välityskyky eri menetelmien mukaan, kun kiertävän raskaan liikenteen osuus on 10 % ja liittymästä poistuva liikennemäärä 366 ajon/h sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla ja illalla 23.10.2014.

### 5.3 Kirkkonummi

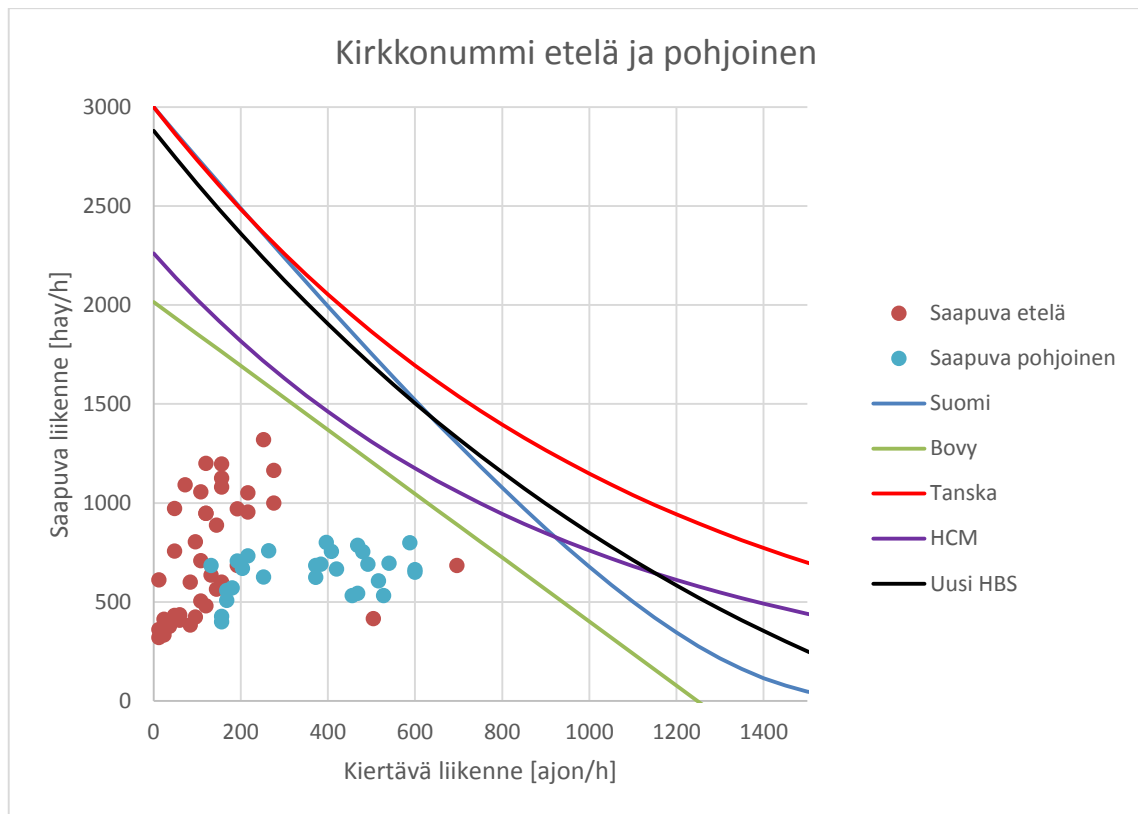
Kirkkonummen kiertoliittymässä yhdistettiin sekä pohjoinen ja eteläinen haara että itäinen ja läntinen haara. Jos saapuvia tai kiertäviä kaistoja oli kaksi, niiden liikennemäärät laskettiin yhteen.

Läntisessä haarassa (kuva 91) oli yksi aikajakso, jonka aikana esiintyi viiden minuutin jono. Tämän jakson mitattu liikennemäärä ylitti suomalaisen, yhdysvaltalaisen ja saksalaisen menetelmän arvioiman teoreettisen välityskyvyn. Tanskalainen ja hollantilainen menetelmä yli-arvioivat välityskykyä jonkin verran.



Kuva 91 Kirkkonummen 2-kaistaisen kiertoliittymän itäisen ja läntisen haaran välityskyky eri menetelmien mukaan, kun kiertotila on 2-kaistainen ja ulommalla kiertävällä kaistalla ajavien osuus on 79 %, kiertävän raskaan liikenteen osuus on 7 % ja liittymästä poistuva liikennemäärä 400 ajon/h sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla 18.9.2014 ja illalla 1.9.2014.

Eteläinen ja pohjoinen tulosuunta olivat kiertävän liikenteen osalta melko hiljaisia, joten mikään menetelmä ei aliarvioinut välityskykyä (kuva 92).

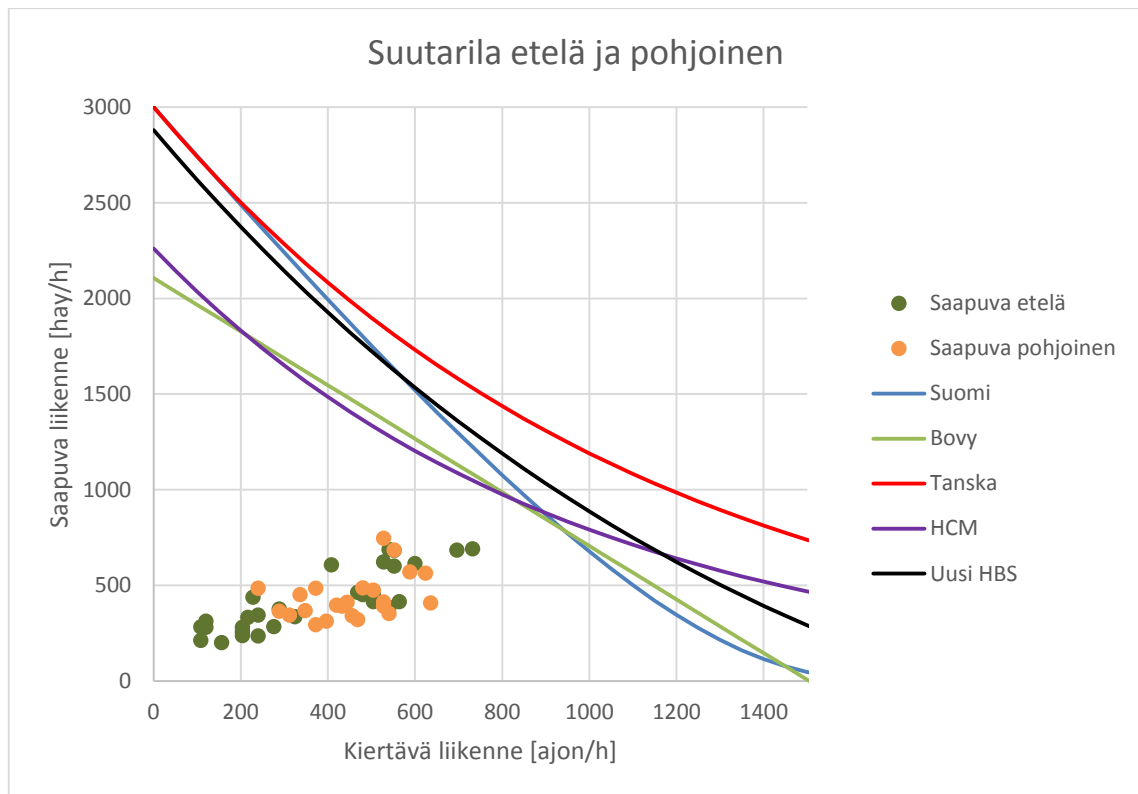


Kuva 92 Kirkkonummen 2-kaistaisen kiertoliittymän eteläisen ja pohjoisen haaran välityskyky eri menetelmien mukaan, kun kiertävän raskaan liikenteen osuus on 9 % ja liittymästä poistuva liikennemäärä 600 ajon/h sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla 18.9.2014 ja illalla 1.9.2014.

## 5.4 Suutarila

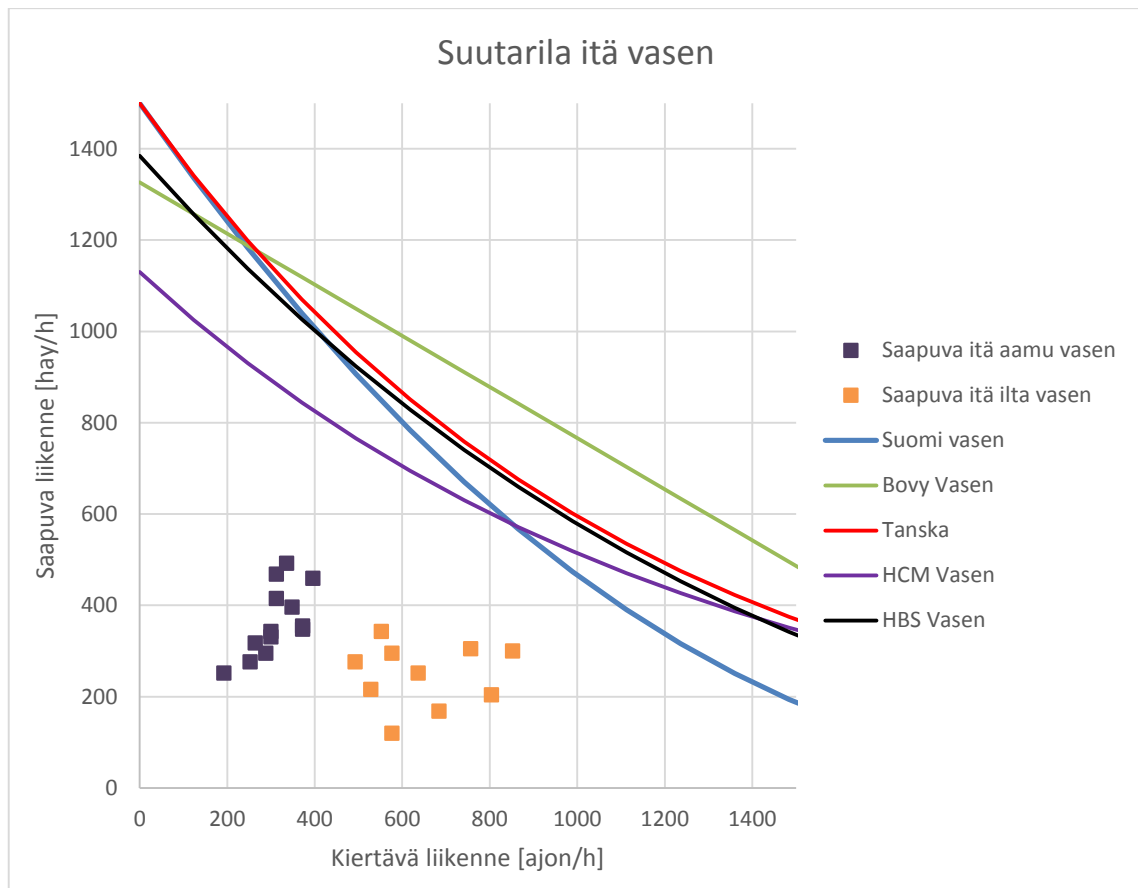
Suutarilan kiertoliittymän vertailuaineistosta jätettiin pois itäisen ja läntisen haaran saapuvien oikeiden kaistojen tulokset, koska niissä oli niin pienet liikennemäärät. Vertailtavissa haaroissa mikään menetelmä ei aliarvioinut välityskykyä. Liikennemäärät olivat myös näissä hyvin pieniä.

Eteläisen ja pohjoisen haaran tulokset on esitetty kuvassa 93.



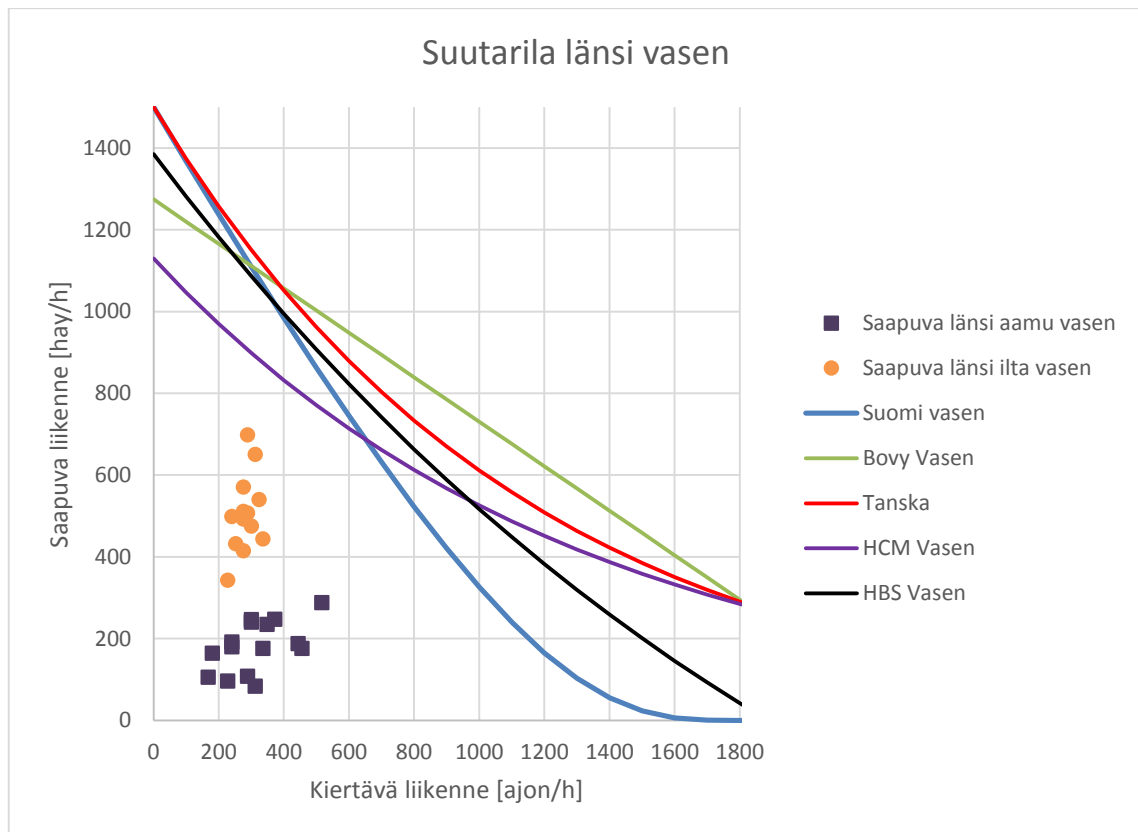
Kuva 93 Suutarilan 2-kaistaisen kiertoliittymän eteläisen ja pohjoisen haaran välityskyky eri menetelmien mukaan, kun kiertävän raskaan liikenteen osuus on 5 % ja liittymästä poistuva liikennemäärä 506 ajon/h sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla ja illalla 2.10.2014.

Vasemman kaistan tulokset itäisessä haarassa on esitetty kuvassa 94.



*Kuva 94 Suutarilan 2-kaistaisen kiertoliittymän itäisen haaran vasemman saapuvan kaistan välityskyky eri menetelmien mukaan, kun kiertotila on 2-kaistainen ja ulommalla kiertävällä kaistalla ajavien osuus on 40 %, kiertävän raskaan liikenteen osuus on 5 % ja liittymästä poistuva liikennemäärä 465 ajon/h sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla ja illalla 2.10.2014.*

Läntisen haaran vasemman kaistan tulokset on esitetty kuvassa 95.



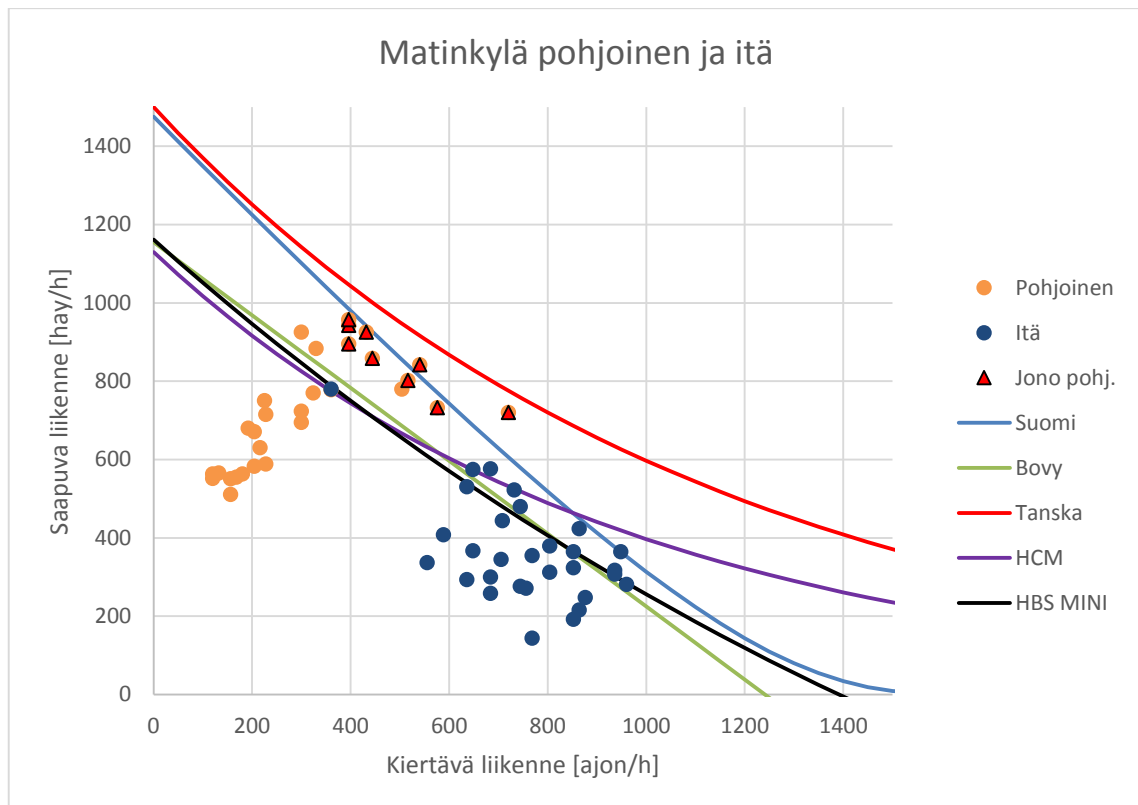
Kuva 95 Suutarilan 2-kaistaisen kiertoliittymän läntisen haaran vasemman saapuvan kais-tan välityskyky eri menetelmien mukaan, kun kiertotila on 2-kaistainen ja ulommalla kiertä-vällä kaistalla ajavien osuus on 1 %, kiertävän raskaan liikenteen osuus on 2 % ja liittymästä poistuva liikennemäärä 622 ajon/h sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuu-tin aikajaksoissa aamulla ja illalla 2.10.2014.

## 5.5 Matinkylä

Matinkylän kiertoliittymässä yhdistettiin sekä pohjoisen ja itäisen että eteläisen ja läntisen haaran tulokset. Eteläisessä ja läntisessä haarassa on suojatie, jonka vaikutus arvioitiin niissä menetelmissä, joissa siihen oli sopiva metodi. Kevyen liikenteen liikennemääränä käytettiin 60 ylitystä / tunti.

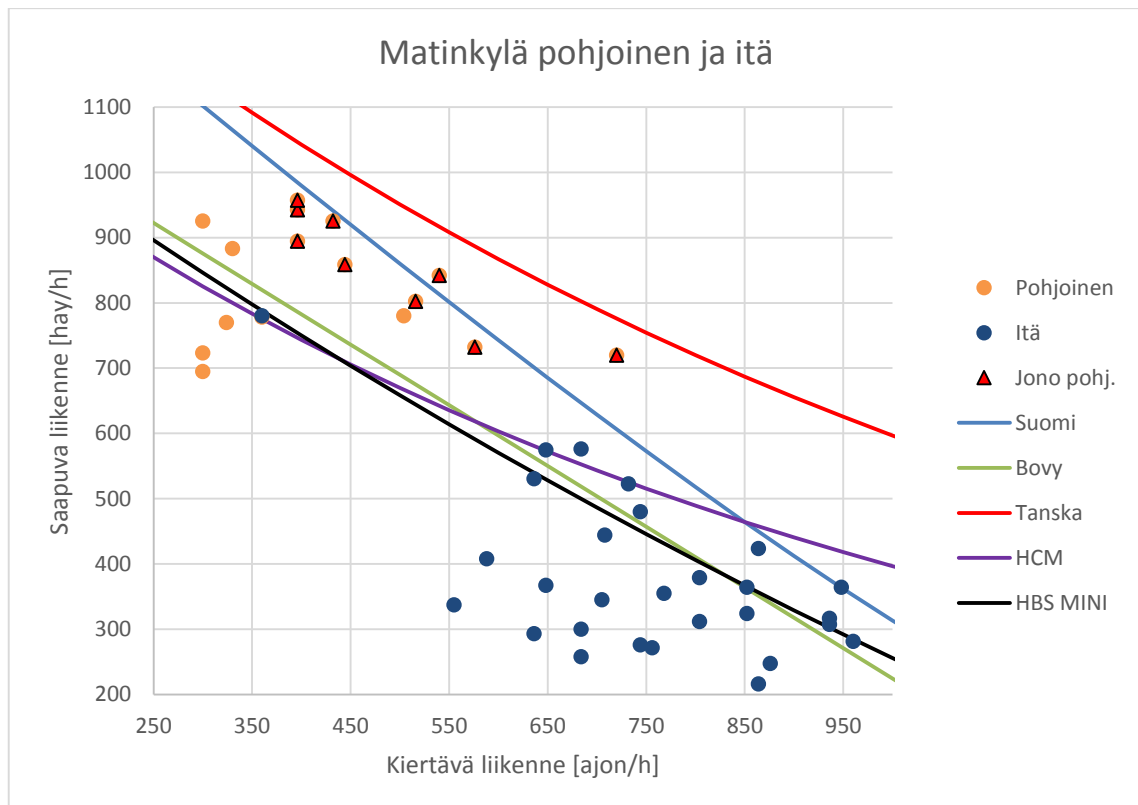
Pohjoisen haaran (kuva 96) mitatuista jonojaksojen välityskykyarvoista ainoastaan tanska-laisen menetelmän käyrä jäi kokonaisuudessaan niiden yläpuolelle. Suomalainen menetelmä antoi saman suuruusluokan tuloksia kuin mitatut arvot, ja muut menetelmät tanskalaista lu-kuun ottamatta aliarvioivat mitattua välityskykyä noin 100–200 hay/h. Myös osa itäisen haa-ran mittaushavainnoista ylitti kaikkien muiden, paitsi tanskalaisten, menetelmien mukaan lasketun teoreettisen välityskyvyn, vaikkei tarkkailuaikana esiintynyt yhtäkään viiden mi-nuutin jatkuvaa jonoa.





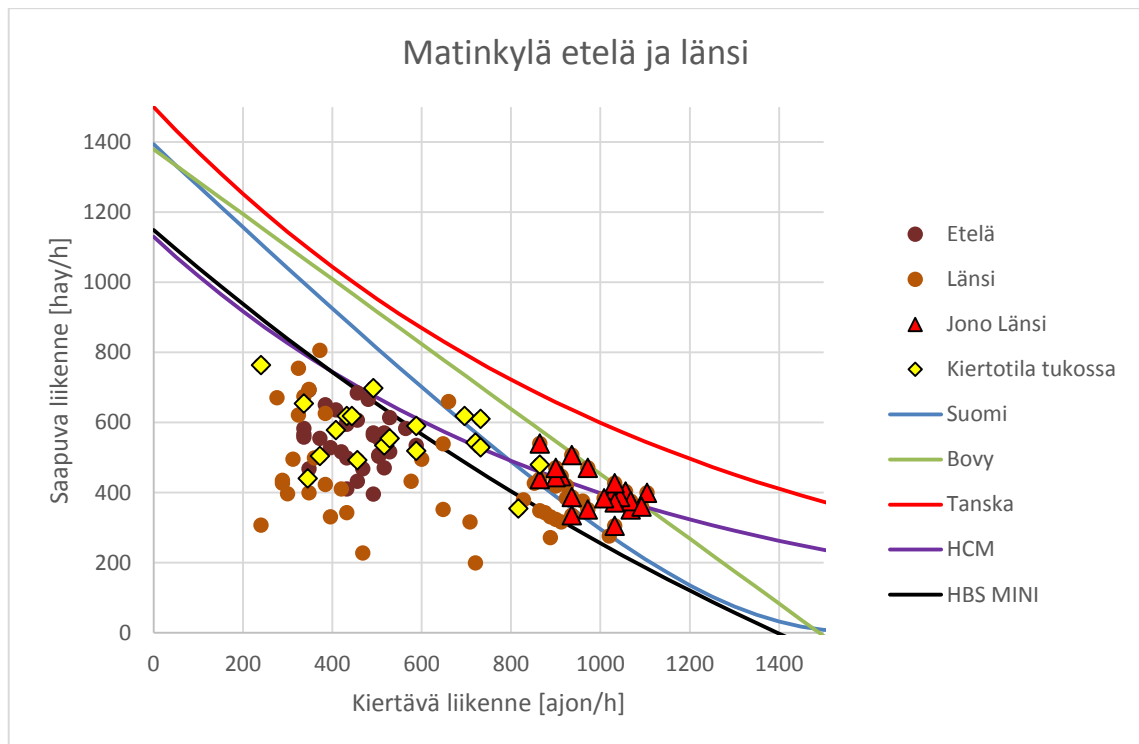
Kuva 96 Matinkylän kiertoliittymän pohjoisen ja itäisen haaran välityskyky eri menetelmien mukaan, kun kiertävän raskaan liikenteen osuus on 5 % ja liittymästä poistuva liikennemäärä 742 ajon/h sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla ja illalla 24.9.2015.

Kuvassa 97 on muutettu akseleiden minimi- ja maksimiarvoja siten, että mielenkiintoiset pisteet erottuvat paremmin.



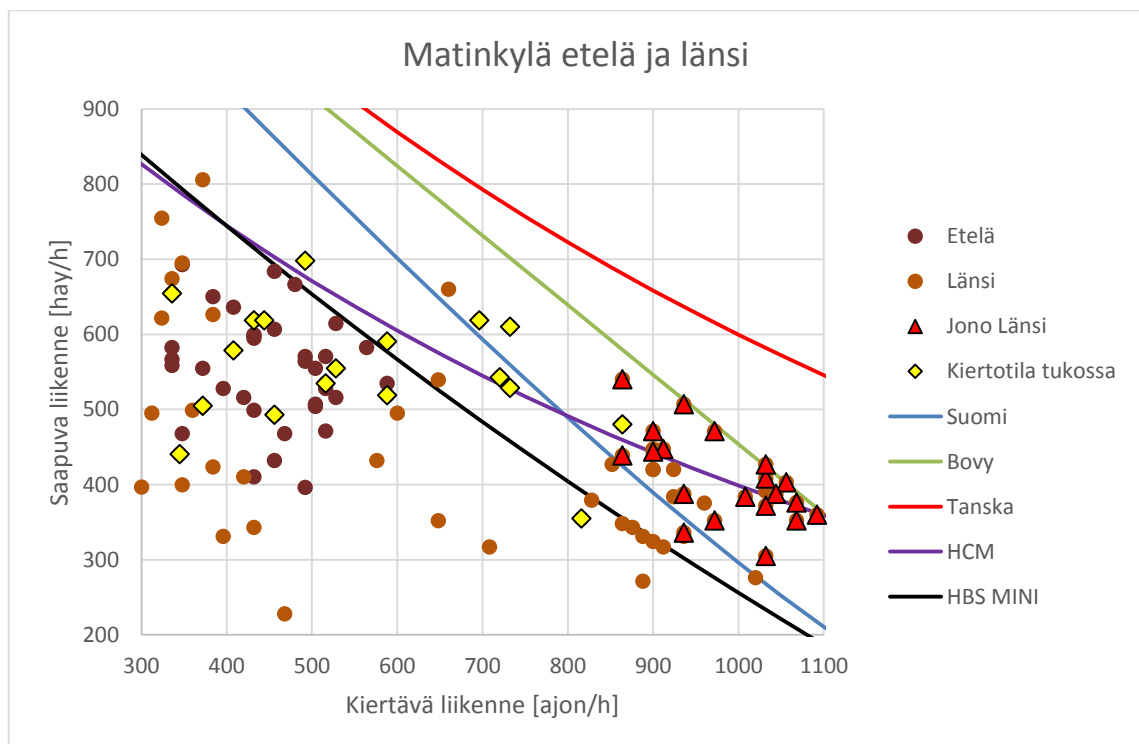
Kuva 97 Matinkylän kiertoliittymän pohjoisen ja itäisen haaran välityskyky tarkennetulta alueelta.

Matinkylän läntisessä haarassa (kuva 98) oli paljon kiertävää liikennettä ja osa vertailtavista menetelmistä vaikuttaisikin sopivan tällaisen liikennemääräjakauman arviointiin paremmin kuin suureen saapuvan liikenteen määrään. Näissäkin haaroissa tanskalainen menetelmä oli ainut, jolla lasketut välityskykyarvot olivat suurempia kuin yksikään mitattu arvo. HBS antoi kaikilla jonoutuneilla aikajaksoilla pienemmän arvion välityskyvystä kuin mitä mitattiin. Hollantilainen menetelmä sivusi suurimpia mitattuja arvoja, mutta yliarvioi muita. HCM:n arvio välityskyvystä vaikuttaisi tarkentuvan sitä mukaa, kun kiertävän liikenteen määrä kasvaa.



Kuva 98 Matinkylän kiertoliittymän pohjoisen ja itäisen haaran välityskyky eri menetelmien mukaan, kun suojatien ylittävää kevyttä liikennettä on 60 jk/h, kiertävän raskaan liikenteen osuus on 4 % ja liittymästä poistuva liikennemäärä 260 ajon/h sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla ja illalla 24.9.2015.

Kuvassa 99 on eteläisen ja läntisen haaran tulokset esitettynä tarkemmalta alueelta.

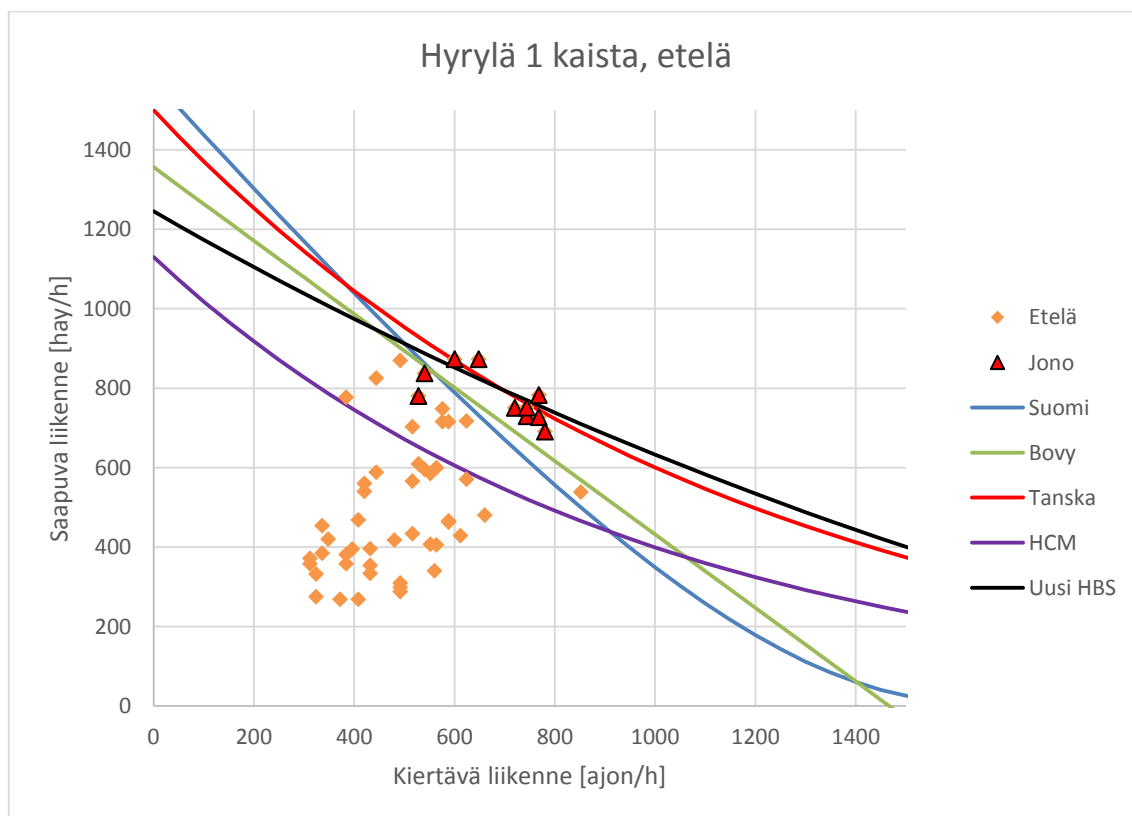


Kuva 99 Matinkylän kiertoliittymän eteläisen ja läntisen haaran välityskyky tarkennetulta alueelta.

## 5.6 Hyrylä pohjoinen

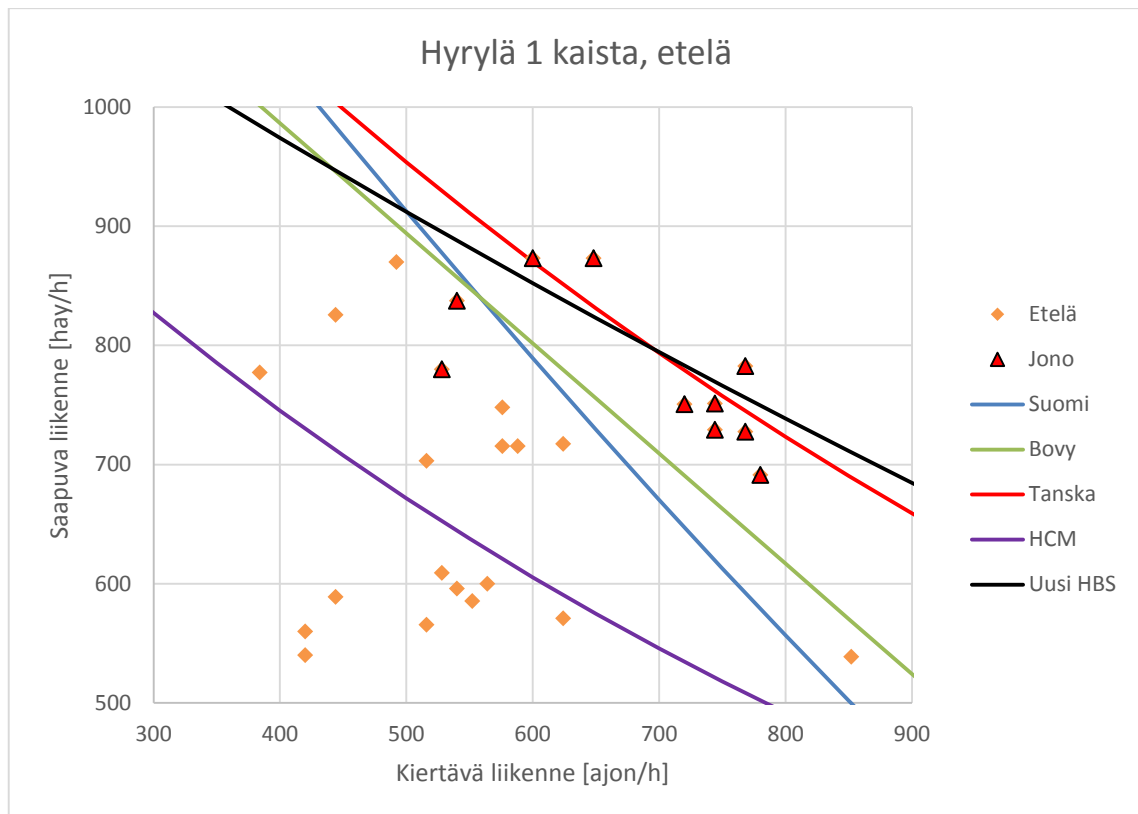
Hyrylän yksikaistaisen kiertoliittymän eteläisen haaran tulokset päätettiin esittää erillään muista haaroista tulosuunnan loivan ylämäen vuoksi.

Hyrylän eteläisen haaran (kuva 100) suurimmat mitatut välityskyvyt jäivät kaikkien menetelmien käyrien yläpuolelle. HCM oli ainut menetelmä, joka aliarvioi kaikki jatkuvien jonon aikajaksojen välityskyvyn ja myös joidenkin aikajaksojen, joiden aikana ei ollut jatkuvaa jonoa. HCM:n arvio oli 130–260 hay/h alle mitattujen arvojen. Tanskalainen menetelmä, joka on kaikissa muissa tutkituissa kiertoliittymissä yliarvioinut välityskykyä, jopa melko paljonkin, on tässä haarassa saksalaisen menetelmän kanssa lähimpänä mitattuja tuloksia.



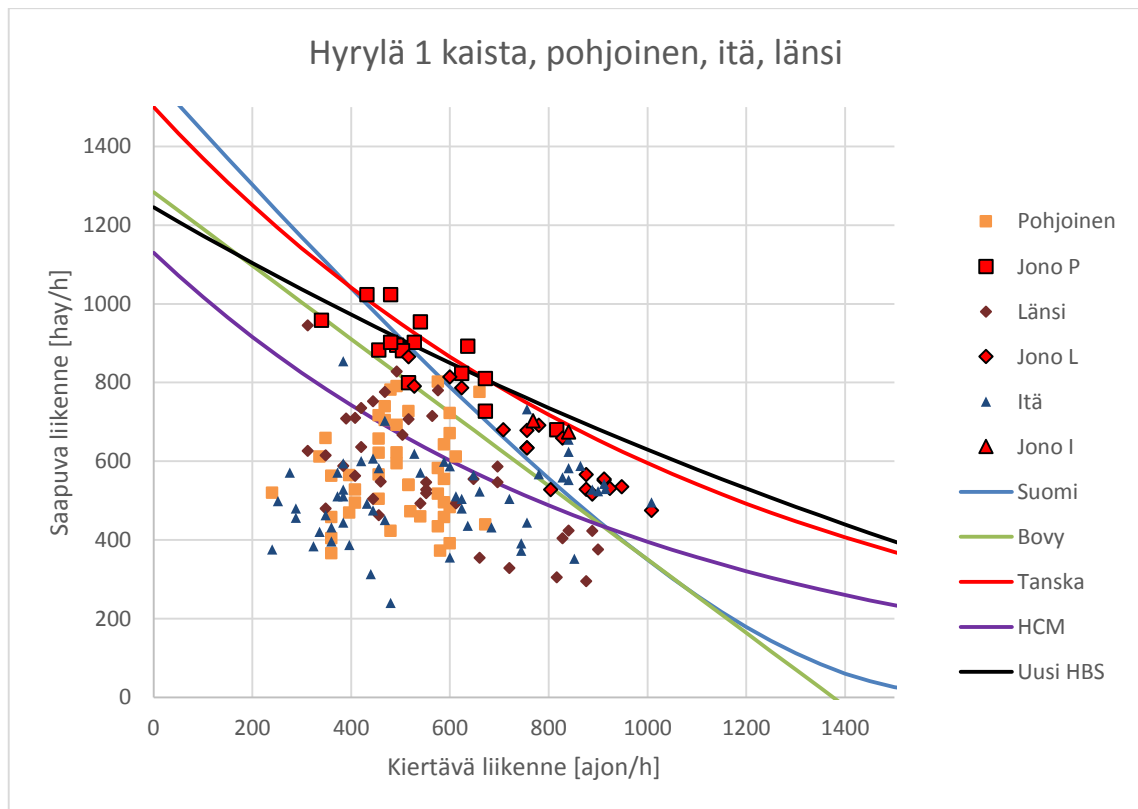
Kuva 100 Hyrylän 1-kaistaisen kiertoliittymän eteläisen haaran välityskyky eri menetelmien mukaan, kun kiertävän raskaan liikenteen osuus on 4 % ja liittymästä poistuva liikennemäärä 518 ajon/h sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla ja illalla 28.10.2015.

Kuvassa 101 on mielenkiintoiset pisteet esitettynä tarkennetulta alueelta.



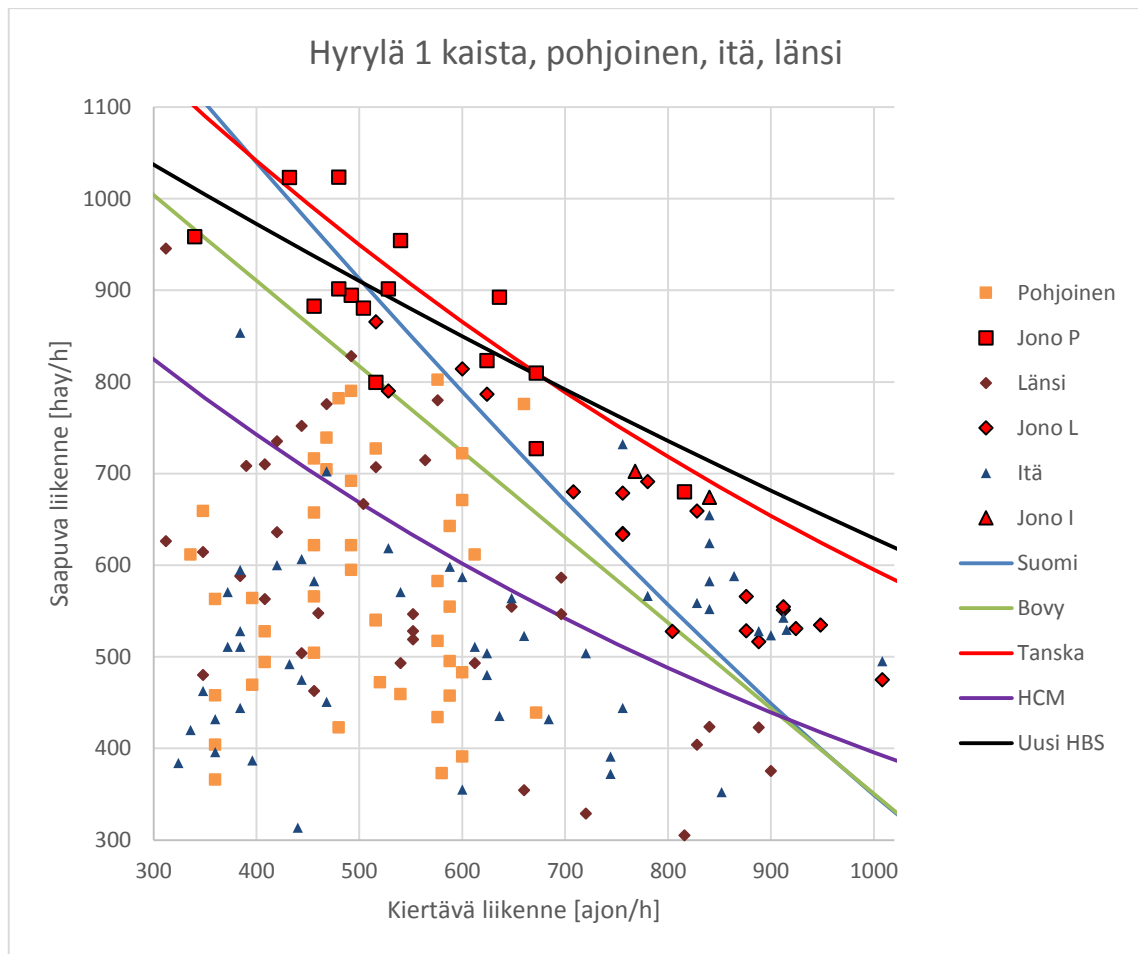
Kuva 101 Hyrylän 1-kaistaisen kiertoliittymän eteläisen haaran välityskyky tarkennetulta alueelta.

Pohjoisen, itäisen ja läntisen haaran (kuva 102) tuloksiin ei vertailtavista menetelmistä sopinut mikään kovinkaan hyvin. Suomalainen menetelmä oli tulosten kanssa samansuuntaisin, mutta aliarvioi välityskykyä suurilla kiertävän liikenteen määrillä. HCM aliarvioi välityskykyä ollen 65–340 hay/h pienempi kuin mitatut välityskykyarvot.



Kuva 102 Hyrylän 1-kaistaisen kiertoliittymän pohjoisen, itäisen ja läntisen haaran välityskyky eri menetelmien mukaan, kun kiertävän raskaan liikenteen osuus on 5 % ja liittymästä poistuva liikennemäärä 772 ajon/h sekä videokuvauksissa havaitut liikennemäärät 5 minuutin aikajaksoissa aamulla ja illalla 28.10.2015.

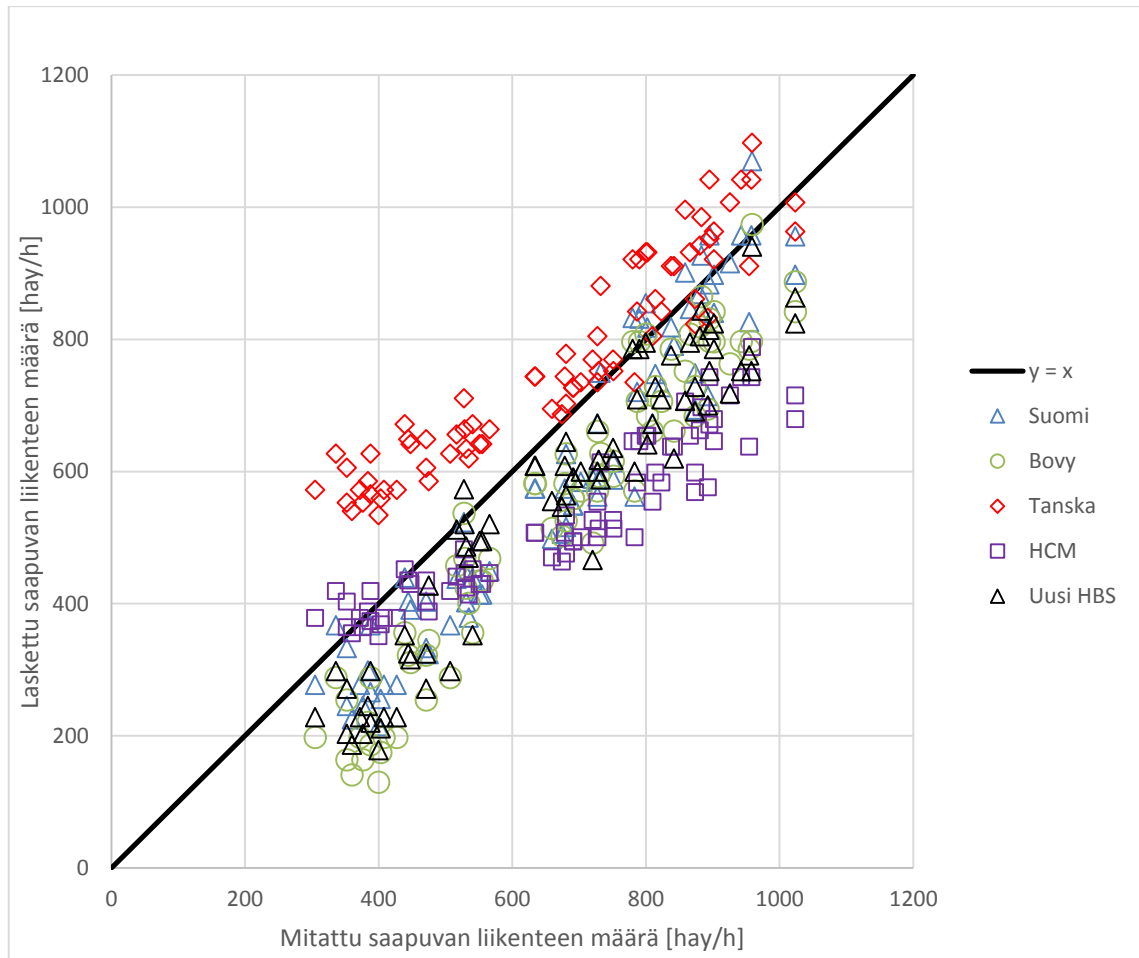
Kuvassa 103 on mielenkiintoiset pisteet esitettynä pienemmällä alueella.



Kuva 103 Hyrylän 1-kaistaisen kiertoliittymän pohjoisen, itäisen ja läntisen haaran välityskykyä tarkennetulta alueelta.

## 5.7 Mitatun liikennemäärän ja eri menetelmillä lasketun välityskyvyn vertailu

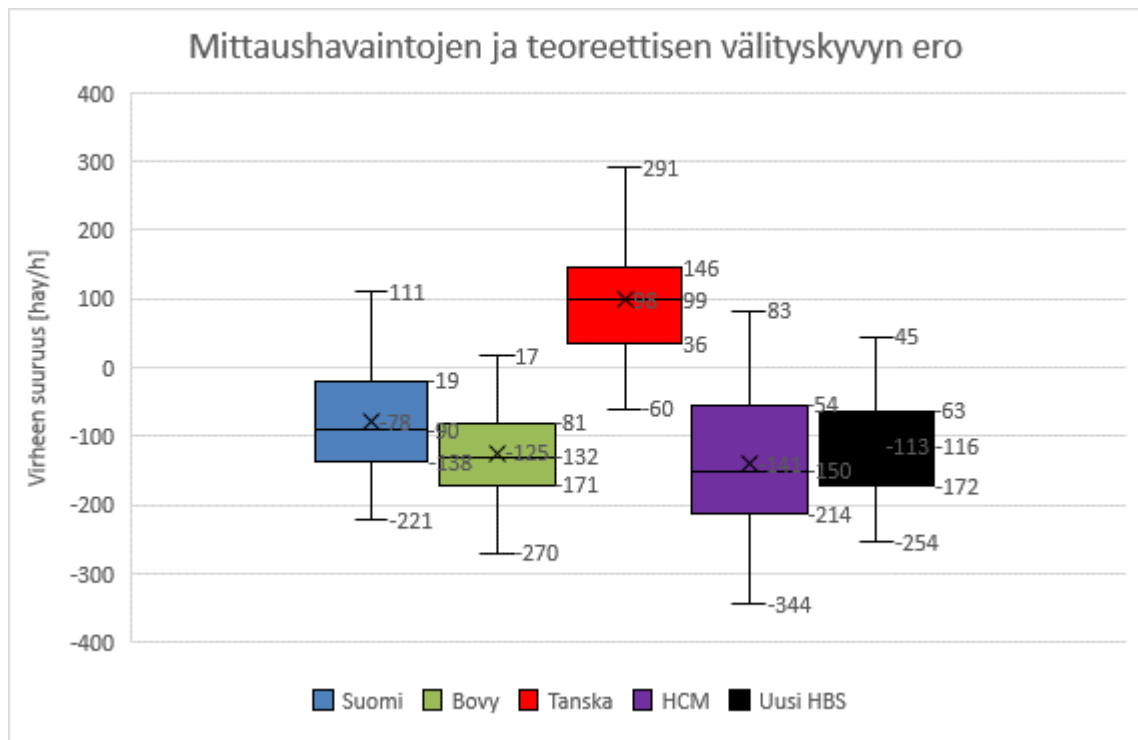
Kuvassa 104 on esitetty eri menetelmillä lasketut arvot mitattujen liikennemäärien funktiona. Optimitilanteessa mitattu arvo on yhtä suuri kuin laskettu arvo. Suora, joka kulkee pisteiden läpi, on periaatteellinen optimi, jolle pisteiden tulisi sijoittua. Liitteessä 10 on menetelmien sopivuudet mittaushavaintoihin eroteltuna menetelmittain. Kussakin menetelmässä on käytetty kahta eri regressiosuoraa, joista toinen on pakotettu kulkemaan origon kautta ja toinen ei. Mitattu saapuvan liikenteen määrä on muutettu henkilöautoyksiköiksi kaikkiin menetelmiin suomalaisen menetelmän mukaan. Laskentamenetelmistä Bovy ja HCM ovat siis vaakasuunnassa tarkkuudella  $-2,0-0,0$  % ja uusi HBS tarkkuudella  $-0,4-0,5$  %.



Kuva 104 Eri menetelmien mukaan lasketun liikenteen määrän riippuvuus mitatun liikenteen määrästä.

Virhearviot eri menetelmille on kuvassa 105. Huomataan, että ainut menetelmä, joka tuottaa lähes poikkeuksetta liian suuria välityskyvyn arvoja, on tanskalainen menetelmä. Suomalaisen menetelmän virheiden keskiarvo (−78) ja mediaani (−90) ovat lähimpänä mitattuja arvoja. HCM antaa tuloksia laajimmalta alueelta, virheen vaihdellessa välillä −344–83 hay/h.





Kuva 105 Eri laskentamenetelmien tuottamat virheet ylhäältä alaspäin: maksimiarvo, yläkvartiili, aritmeettinen keskiarvo (rasti), mediaani, alakvartiili ja minimiarvo.

## 5.8 Kiertoliittymätyyppien vertailu

Vaikkeivat osittain kaksikaistaiset kiertoliittymät ruuhkautuneet koko viiden minuutin tarkailuaikajakson ajaksi kertaakaan (paitsi Kirkkonummi), voidaan liittymätyyppejä verrata keskenään joissain määrin.

Hyrylän osittain kaksikaistaisessa liittymässä itäisen haaran iltaruuhkassa kiertävää liikennettä oli monessa aikajaksossa 2000–2500 ajon/h, jolloin saapuvaa liikennettä oli 150–200 hay/h. Jos näitä lukemia verrataan kumpaan tahansa tutkittuun yksikaistaiseen kiertoliittymään, voidaan todeta, että osittain kaksikaistainen kiertoliittymä toimii paremmin, kun kiertävää liikennettä on paljon ja kiertäviä kaistoja on kaksi.

Jos liikennemäärät ovat kovin suuret, on kaksi poistuvaa kaistaa vilkkaimpaan suuntaan myös kiertoliittymän toimivuutta parantava ratkaisu. Lisäksi molempien poistuvien kaistojen tulisi olla yhtä mielekkäitä käyttää eli kaista ei saa päättyä kovin lähellä liittymää, koska päättyvän kaistan ja sitä edeltävän kiertävän kaistan käyttöaste saattaa jäädä hyvin pieneksi.

Eteläisen haaran iltaruuhkassa Hyrylän osittain kaksikaistaisessa kiertoliittymässä saapuvaa liikennettä oli paljon. Molempien saapuvien kaistojen yhteenlaskettu liikennemäärä oli monessa aikajaksossa 2000–2500 hay/h ja kiertävää liikennettä oli 100–200 ajon/h. Yksikaistaisissa kiertoliittymissä suurimmat saapuvan liikenteen määrät olivat noin 1000 hay/h, jolloin kiertävää liikennettä oli 400–500 ajon/h.

Korostettakoon vielä, että Hyrylän osittain kaksikaistainen kiertoliittymä ei ruuhkautunut kertaakaan. On luonnollista, että kahden kaistan yhteenlaskettu liikennemäärä on suurempi

kuin yhden kaistan, mutta kaksi kiertävää kaistaa ei kuitenkaan takaa korkeampaa välityskykyä. Kirkkonummen ainoassa jonoaikajaksossa välityskyky oli samaa suuruusluokkaa yksikaistaisten kiertoliittymien jonojaksojen välityskyvyn kanssa. Tämä johtui todennäköisesti ulomman kiertävän kaistan suuresta käyttöasteesta. Jos liittymästä etelään poistuvan haaran oikeanpuoleinen kaista olisi ollut päättävä kaista vasemman sijaan (kuten Suutarilassa), olisi välityskyky ollut todennäköisesti parempi.

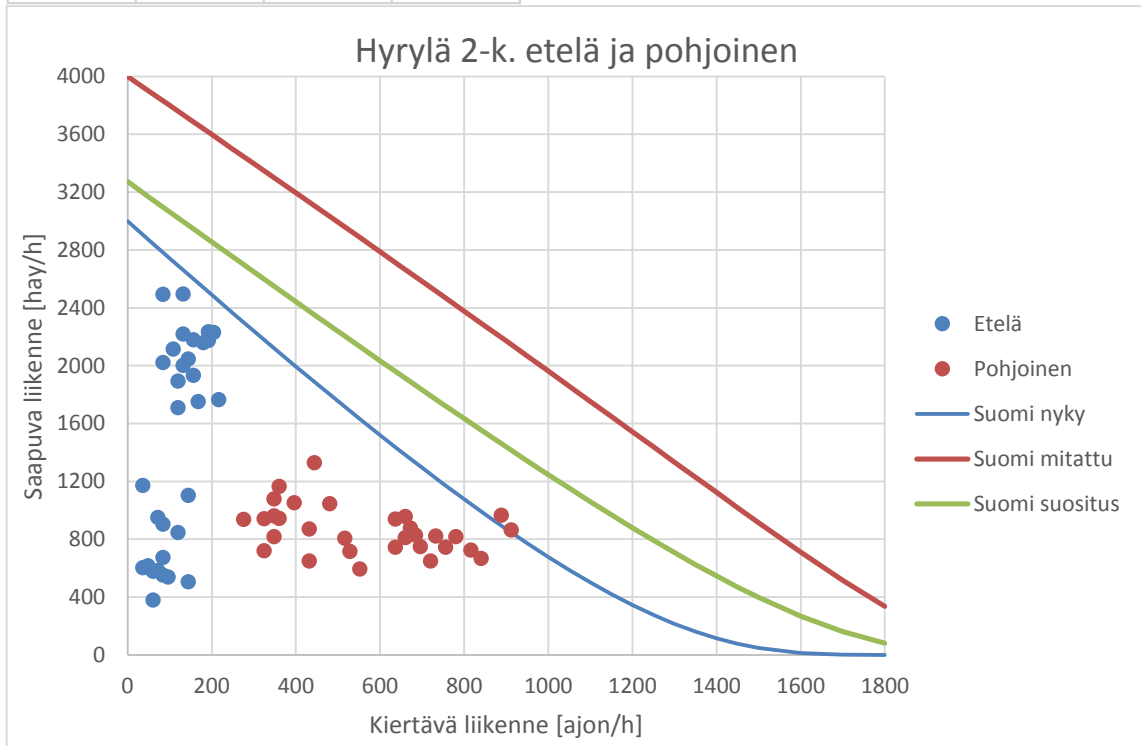
Kaikista tutkituista osittain kaksikaistaista kiertoliittymistä ainakin joiltain aikajaksoilta mitatut liikennemäärät olisivat todennäköisesti ruuhkauttaneet yksikaistaisten kiertoliittymän. Kirkkonummen ja Hyrylän kaksikaistaisten liittymien suurimmat liikennemäärät ruuhkauttaisivat yksikaistaisten kiertoliittymän varmasti, mutta Suutarilan liikennemäärät olivat yksikaistaisten kiertoliittymän välityskyvyn rajoilla.

## **5.9 Suomalainen menetelmä mitatuilla parametreilla**

Suomalaiseen laskentamenetelmän sopivuutta mitattuihin liikennemääriin kokeiltiin myös mittaushavainnoista lasketuilla parametreilla. Seuraavissa kuvissa on esitetty välityskykykäyrät eri parametrien arvoilla. Parametrien arvoina on käytetty suomalaisen menetelmän nykyohjeiden mukaisia arvoja, suositeltavia arvoja ja mittaushavainnoista saatuja arvoja.

Kuvassa 106 on esitetty Hyrylän osittain kaksikaistaisten kiertoliittymän eteläisen ja pohjoisen haaran teoreettinen välityskyky eri parametrien arvoilla. Suositeltuihin arvoihin päädyttiin, koska liikennemäärät liittymässä olisivat voineet olla suurempia. Liittymä ei ruuhkautunut.

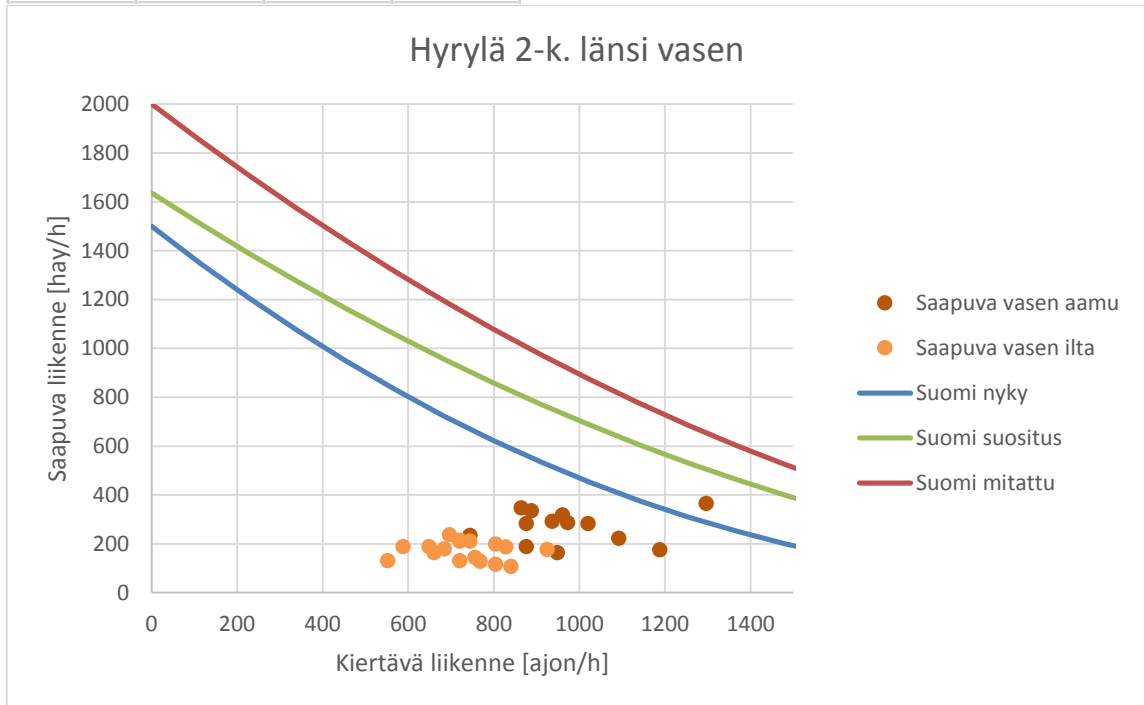
	Nyky	Mitattu	Suositus
Tc	4,3	2,7	3,4
Tf	2,4	1,8	2,2
Tp	1,8	1,5	1,5



Kuva 106 Teoreettinen välityskyky eri parametrien arvoilla Hyrylän osittain kaksikaistaisen kiertoliittymän eteläisessä ja pohjoisessa haarassa.

Kuvassa 107 on esitetty Hyrylän osittain kaksikaistaisen kiertoliittymän läntisen haaran vasemman saapuvan kaistan teoreettinen välityskyky. Saapuvaa liikennettä olisi voinut olla enemmän ja haara olisi ollut edelleen ruuhkaton. Suositellut arvot etsittiin kokeilemalla ja arvot, joihin päädyttiin, eivät ole todennäköisesti liian optimistisia.

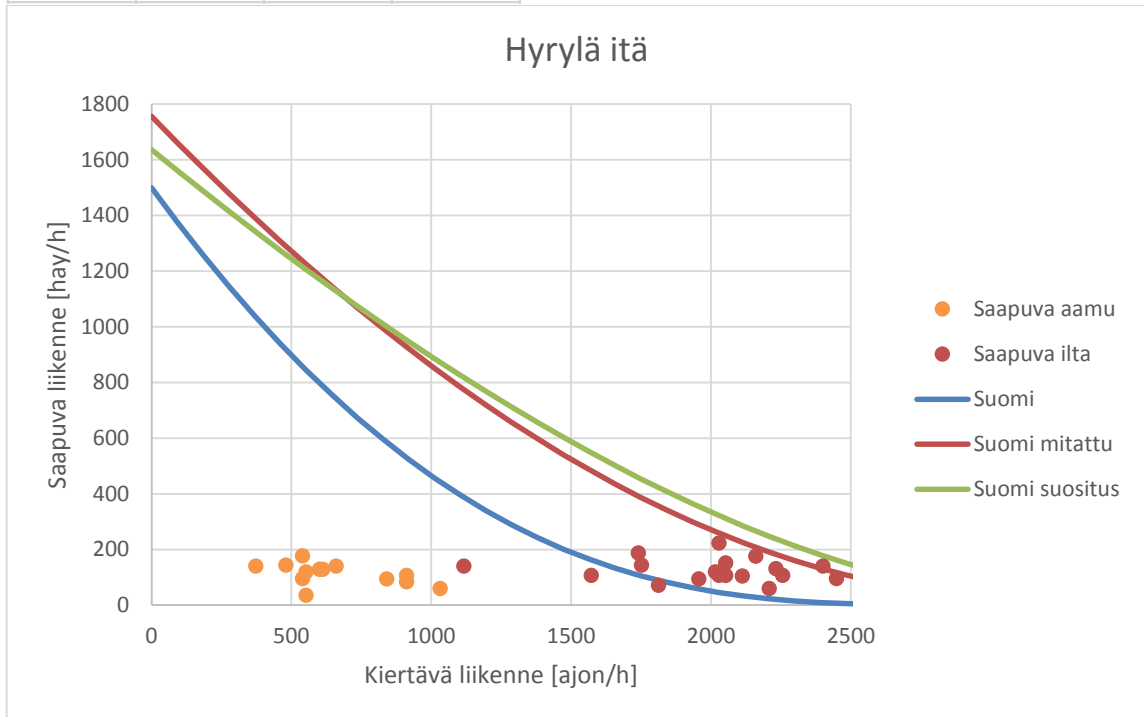
	Nyky	Mitattu	Suositus
Tc ulko	4,6	3	3,4
Tc sisä	4,4	3	3,2
Tf	2,4	1,8	2,2
Tp	1,8	1,5	1,5



Kuva 107 Teoreettinen välityskyky eri parametrien arvoilla Hyrylän osittain kaksikaistaisen kiertoliittymän läntisessä haarassa.

Kuvassa 108 on esitetty Hyrylän osittain kaksikaistaisen kiertoliittymän itäisen haaran mitatut liikennemäärät, sekä teoreettinen välityskyky. Suositeltuihin arvoihin päädyttiin siten, että kokeiltiin millä kriittisen aikavälin arvoilla teoreettinen välityskyky ei ole liian pieni. Suurilla kiertävän liikenteen määrillä tämä oli haastavaa. Tämän haaran tulosten perusteella voidaan sanoa, että erityisen suurilla kiertävän liikenteen määrillä sekä kriittistä aikaväliä että kiertävän liikenteen minimaikaväliä tulee laskea reilusti nykyisistä ohjearvoista. Ainoastaan näin saadaan realistisia välityskykyarvioita.

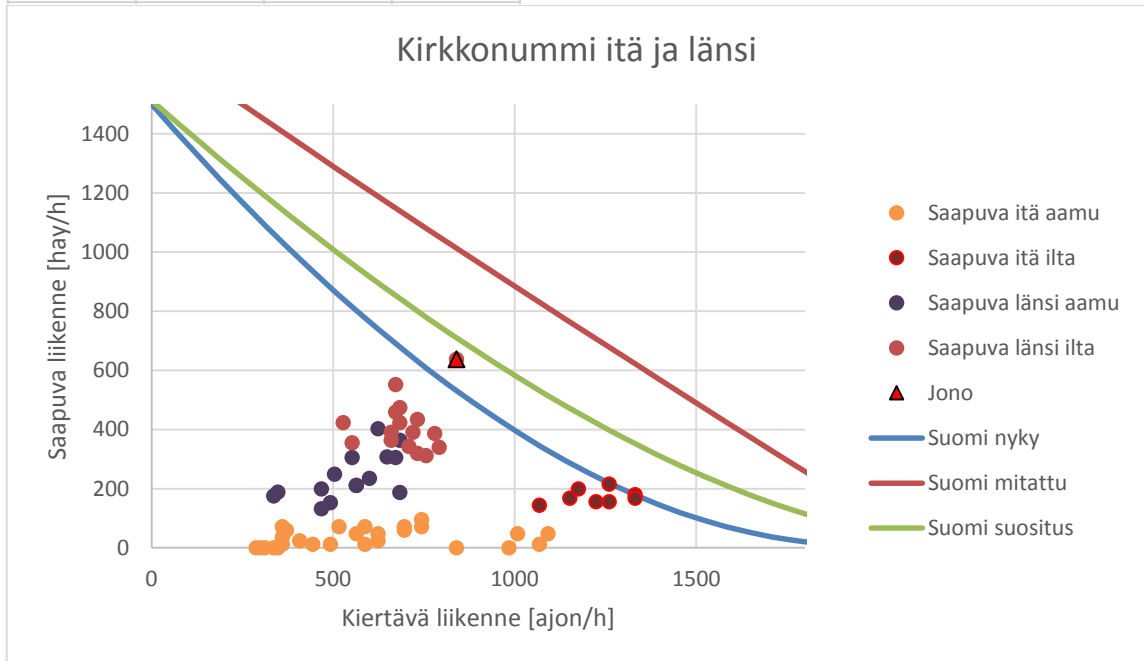
	Nyky	Mitattu	Suositus
Tc ulko	4,6	2,9	2,7
Tc sisä	4,4	2,8	2,5
Tf	2,4	2,05	2,2
Tp	1,8	1,5	1,5



*Kuva 108 Teoreettinen välityskyky eri parametrien arvoilla Hyrylän osittain kaksikaistaisen kiertoliittymän itäisessä haarassa.*

Kuvassa 109 on esitetty Kirkkonummen osittain kaksikaistaisen kiertoliittymän mitatut liikennemäärät ja teoreettinen välityskyky eri parametrien arvoilla. Osittain kaksikaistaisen kiertoliittymien ainut aikajakso, jolla välityskyky saavutettiin, havaittiin tässä liittymässä, voidaan tästä tehdä joitain johtopäätöksiä. Kriittisen aikavälin arvo on tähän liittymään sopeva ja sitä voidaan käyttää muuallakin. Kyseisen ruuhkautuneen haaran kiertävä liikenne oli pääasiassa kiertävällä ulommalla kaistalla, mikä alentaa välityskykyä. Näin ollen suositellut arvot eivät ole liian optimistisia tällaisiin liittymiin.

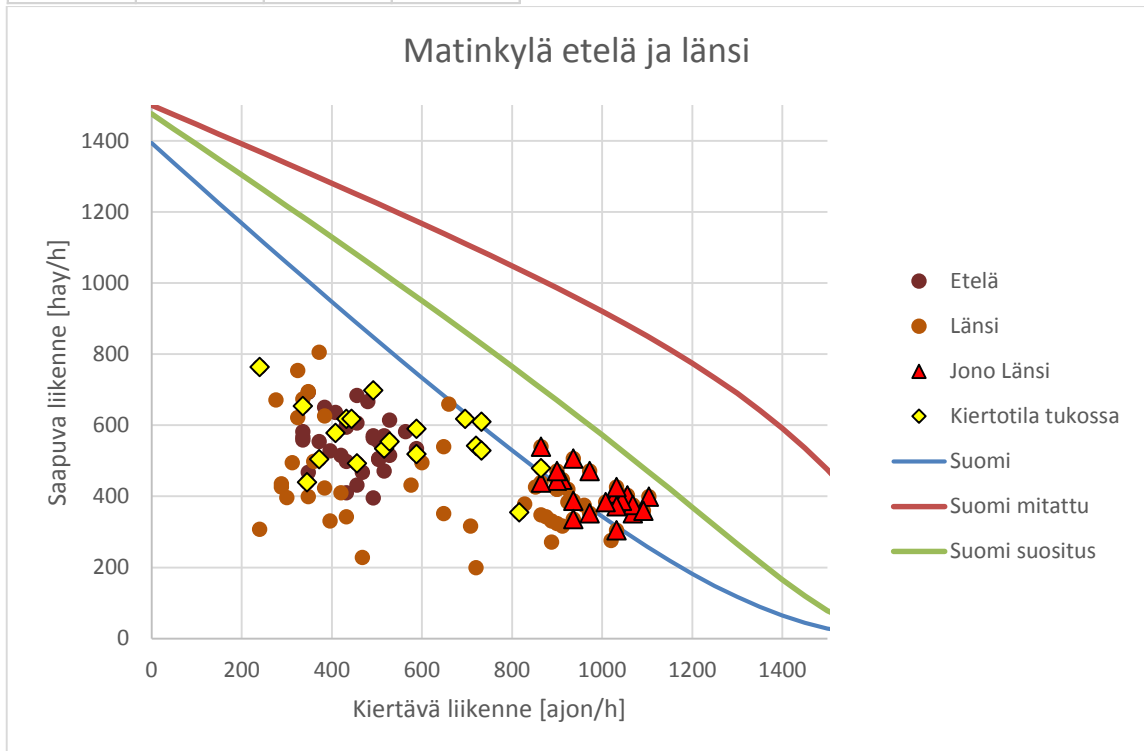
	Nyky	Mitattu	Suositus
Tc ulko	4,6	2,9	3,5
Tc sisä	4,4	2,8	3,3
Tf	2,4	2,1	2,4
Tp	1,8	1,8	1,5



Kuva 109 Teoreettinen välityskyky eri parametrien arvoilla Kirkkonummen osittain kaksikaistaisen kiertoliittymän itäisessä ja läntisessä haarassa.

Kuvassa 110 on esitetty Matinkylän yksikaistaisen kiertoliittymän mitatut liikennemäärät ja teoreettinen välityskyky parametrien eri arvoilla. Kuten kuvasta voidaan havaita, mittaushavainnoista lasketut estimaatit parametreille eivät sovi sellaisenaan välityskyvyn arviointiin. Nykyiset ohjearvot ja kriittisen aikavälin arvo 3,3 s yliarvioivat välityskykyä hieman, mutta on silti hyvin sopiva tähän liittymään.

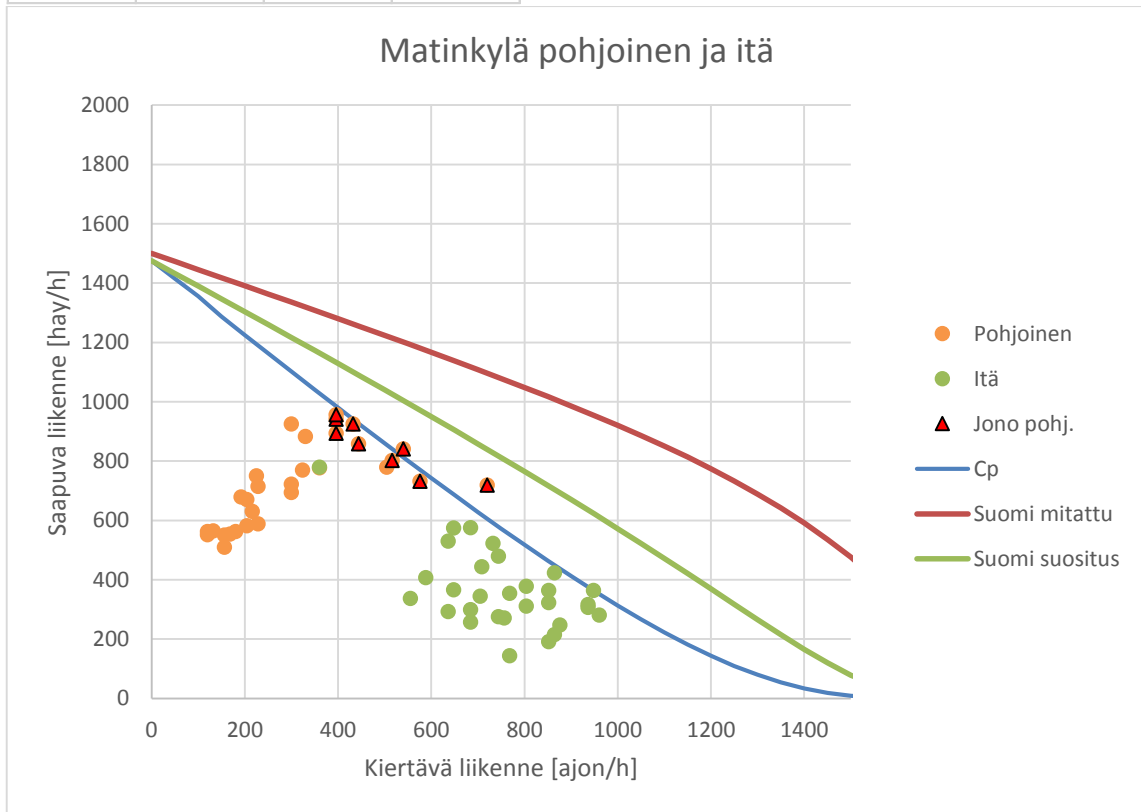
	Nyky	Mitattu	Suositus
Tc	4,3	2,5	3,3
Tf	2,4	2,4	2,4
Tp	1,9	1,8	1,9



Kuva 110 Teoreettinen välityskyky eri parametrien arvoilla Matinkylän yksikaistaisen kiertoliittymän eteläisessä ja läntisessä haarassa.

Kuvassa 111 on esitetty Matinkylän kiertoliittymän pohjoisen ja itäisen haaran tulokset. Mit-taushavainnoista lasketut parametrien arvot eivät tässäkään haarassa anna kovinkaan järke-viä tuloksia.

	Nyky	Mitattu	Suositus
Tc	4,3	2,5	3,3
Tf	2,4	2,4	2,4
Tp	1,9	1,8	1,9

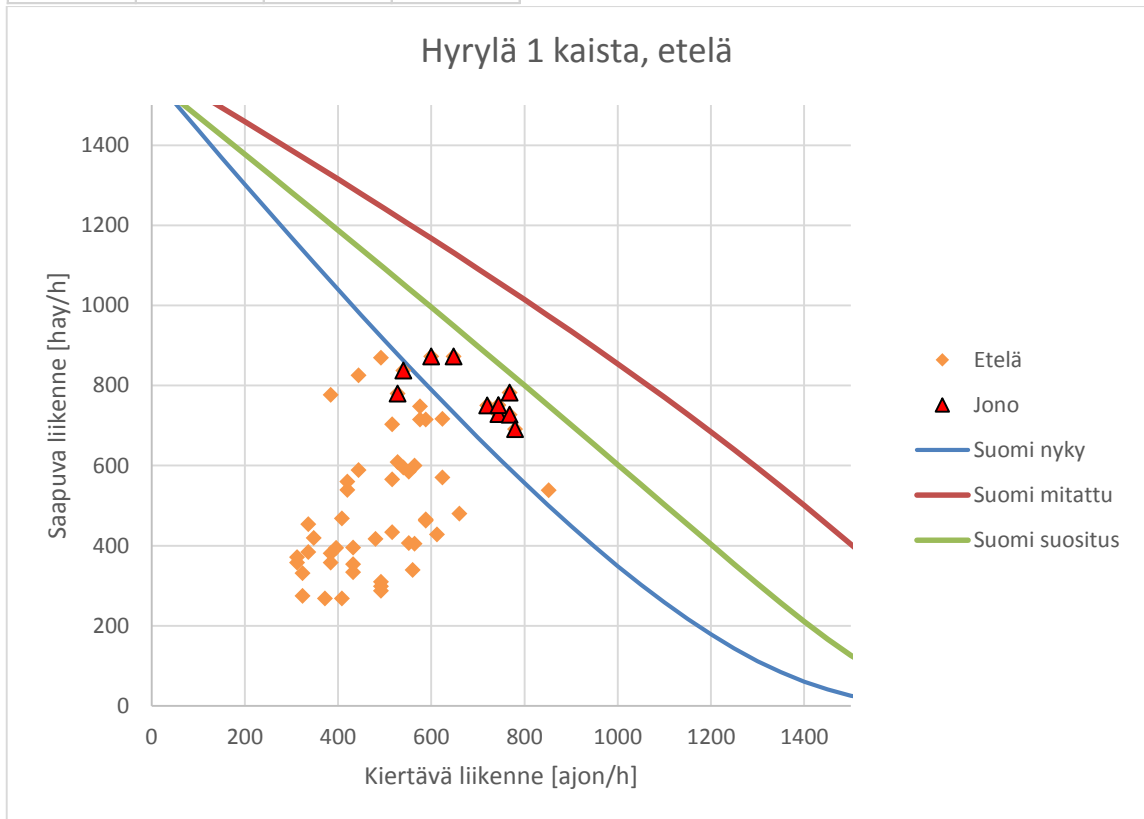


Kuva 111 Teoreettinen välityskyky eri parametrien arvoilla Matinkylän yksikaistaisen kiertoliittymän pohjoisessa ja itäisessä haarassa.

Kuvassa 112 on esitetty Hyrylän yksikaistaisen kiertoliittymän eteläisen haaran tulokset. Kriittisen aikavälin suositus on sama kuin Matinkylässä (3,3 s) ja kaksi muuta parametria nykyohjeiden mukaisia. Suositelluilla parametreilla välityskykykäyrä on lähellä mitattuja liikennemääriä.



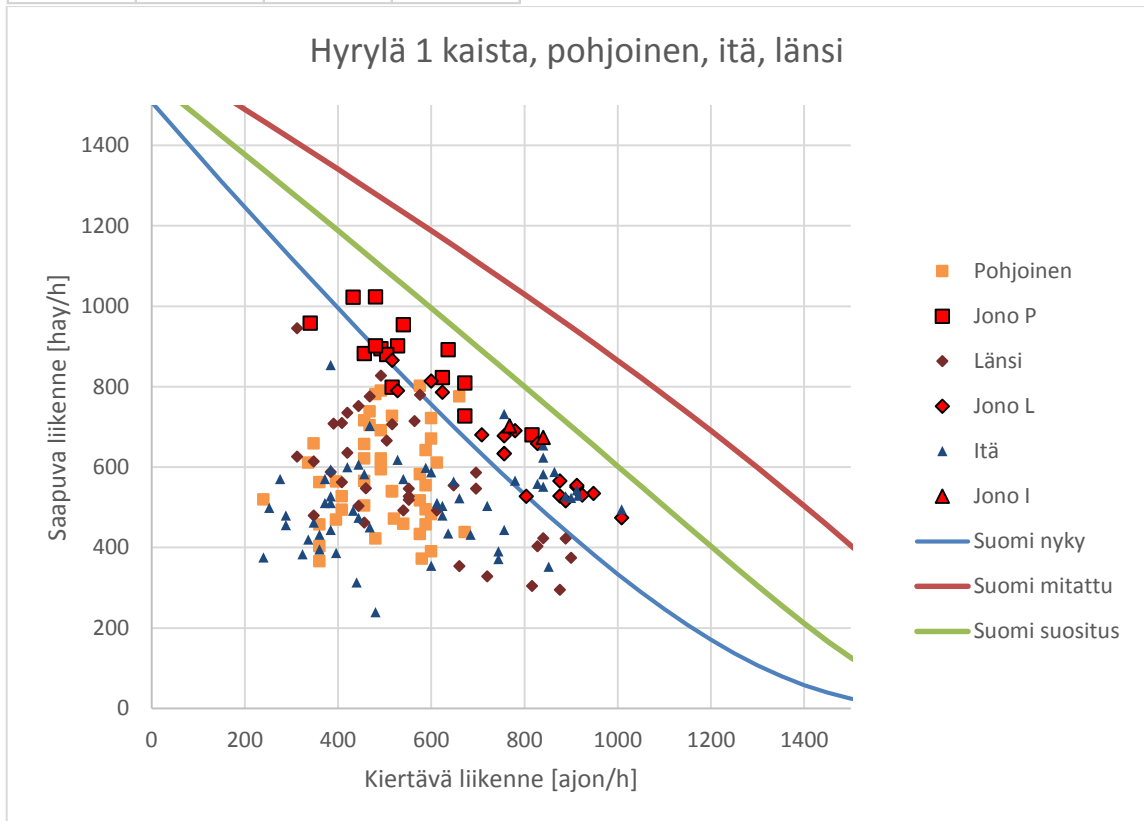
	Nyky	Mitattu	Suositus
Tc	4,3	2,9	3,3
Tf	2,3	2,25	2,3
Tp	1,8	1,6	1,8



Kuva 112 Teoreettinen välityskyky eri parametrien arvoilla Hyrylän yksikaistaisen kiertoliittymän eteläisessä haarassa.

Kuvassa 113 on Hyrylän kiertoliittymän muiden haarojen mittaushavainnot ja teoreettinen välityskyky. Suosituksena voidaan antaa samat arvot kuin eteläisessä haarassa.

	Nyky	Mitattu	Suositus
Tc	4,3	2,8	3,3
Tf	2,3	2,2	2,3
Tp	1,8	1,6	1,8



Kuva 113 Teoreettinen välityskyky eri parametrien arvoilla Hyrylän yksikaistaisen kierto-  
liittymän pohjoisessa, itäisessä ja läntisessä haarassa.

## 6 Johtopäätökset

### 6.1 Välituskyyky

Eri analyttisten laskentamenetelmien tuottamia välituskyykyarvioita mittaushavaintoihin verrattaessa voitiin havaita jopa isoja eroja eri menetelmien kesken. Tanskalainen menetelmä antoi muista menetelmistä eniten poikkeavia arvoja. Suomalaisella menetelmällä lasketuissa välituskyykyarvoissa oli pienin keskimääräinen ero mittaushavaintoihin. Ero vaihteli välillä  $-221$ – $111$  hay/h ja keskimääräinen ero oli  $-78$  hay/h. Hollantilaisella menetelmällä keskimääräinen ero oli  $-125$  hay/h ja vaihteli välillä  $-270$ – $17$  hay/h. Tanskalaisen menetelmän tuottamien välituskyykyarvojen ja mittaushavaintojen ero oli  $-60$ – $291$  hay/h ja keskimääräinen ero  $98$  hay/h. Yhdysvaltalaisella menetelmällä ero oli  $-344$ – $83$  hay/h ja keskimääräinen ero  $-141$  hay/h. Saksalaisella menetelmällä lasketut välituskyykyyn arvot poikkesivat mittaushavainnoista keskimäärin  $-113$  hay/h välillä  $-254$  ja  $45$  hay/h.

Kuten Tuovisen ja Enbergin (2009) tutkimuksessa, tässäkin voidaan tulosten perusteella sanoa, että mitatun ja suomalaisella menetelmällä lasketun välituskyykyyn ero kasvaa kiertävän liikenteen määrän lisääntyessä, mutta ei niin paljon kuin edellä mainitussa tutkimuksessa. Kun kiertävää liikennettä on paljon, suomalainen menetelmä vaikuttaisi aliarvioivan välituskyykyä. Saksalaisen menetelmän osalta saatiin myös hyvin samankaltaisia tuloksia kuin vuoden 2009 tutkimuksessa. Kiertävän liikenteen määrällä ei vaikuttaisi olevan merkitystä saksalaisen menetelmän välituskyykyarvion kannalta, vaan regressioanalyysin perusteella mitattu ja laskettu välituskyyky muuttuvat samassa suhteessa siten, että laskettu välituskyyky on noin  $100$  hay/h pienempi. Hollantilaisen menetelmän välituskyykyarviot olivat regressioanalyysin perusteella samaa luokkaa kuin suomalaisen menetelmän. Tässäkin menetelmässä kiertävän liikennemäärän kasvaessa ero mitatun ja lasketun välituskyykyyn välillä suureni. Mitattujen ja tanskalaisella menetelmällä lasketujen välituskyykyarvojen ero suureni myös kiertävän liikenteen määrän kasvaessa. Toisin kuin suomalainen ja hollantilainen menetelmä, tanskalainen menetelmä yliarvioi välituskyykyä suurilla kiertävän liikenteen määrillä ja on lähimpänä mitattua välituskyykyä (regressioanalyysin perusteella) saapuvan liikenteen määrällä  $1000$  hay/h. Yhdysvaltalainen menetelmä oli ainut, jossa suurilla kiertävän liikenteen määrillä ero lasketun ja mitatun välituskyykyyn välillä oli pienimmillään. Regressioanalyysin perusteella voidaan sanoa, että saapuvan liikenteen määrällä  $1200$  hay/h yhdysvaltalainen menetelmä antaisi noin  $400$  hay/h liian pienen arvion välituskyykyä.

Aikajaksoja, joissa välituskyyky saavutettiin, oli melko vähän, joten menetelmien paremmuutta tai sopivuutta suomalaisiin oloihin ei voida pelkästään tämän tutkimuksen tulosten perusteella päätellä. Tulokset ovat näin ollen lähinnä suuntaa-antavia. Pienillä (alle  $400$  ajon/h / kaista) ja suurilla (yli  $1000$  ajon/h / kaista) kiertävän liikenteen määrillä aikajaksoja, joilla välituskyyky saavutettiin, olisi toivottu enemmän.

Osittain kaksikaistaisissa kiertoliittymissä välituskyykytuloksia ei saatu kuin Kirkkonummelta yhdeltä aikajaksolta. Kaikkien menetelmien tuottama laskennallinen välituskyyky tosin ylittyi Hyrylän kaksikaistaisessa kiertoliittymässä, mutta koska jonoja ei muodostunut, ei välituskyykyä voida sanoa muuta kuin, että mitattu välituskyyky on suurempi kuin yhdelläkään tutkituista menetelmistä laskettu välituskyyky.

Hyrylän kaksikaistaisen kiertoliittymän itäisen haaran iltaruuhkan mittaushavaintojen perusteella voidaan sanoa, että kun kiertävää liikennettä on noin  $2400$ – $2450$  ajon/h voi saapuvaa

liikennettä olla noin 100–150 hay/h. Eli kun kiertäviä kaistoja on kaksi, saapuvia kaistoja yksi ja kiertävä liikenne on jakautunut lähes tasan molemmille kiertäville kaistoille, voivat tulosuunnan ja kiertävän liikenteen määrät olla yhteensä vähintään 2500 ajon/h ilman, että välityskyky ylittyy, kun kiertävää liikennettä on vähintään 2400 ajon/h.

Kun saapuvia kaistoja on kaksi ja kiertäviä yksi, voidaan Hyrylän kaksikaistaisen kiertoliittymän eteläisen haaran iltaruuhkan tulosten perusteella sanoa, että kun molempien saapuvien kaistojen yhteenlaskettu liikennemäärä on noin 2500 hay/h ja kiertävä liikennemäärä 84–132 ajon/h, liittymän välityskyky ei ylitä. Näin ollen tulosuunnan ja kiertävän liikenteen määrät voivat olla yhteensä noin 2600 ajon/h ilman, että välityskyky ylittyy, kun saapuvaa liikennettä on vähintään 2500 hay/h ja kiertävää liikennettä alle 132 ajon/h.

Minuutin aikajaksoista tutkittuna yhteenlasketut liikennemäärät molemmissa edellä olevissa tapauksissa ovat jopa yli 3200 ajon/h, joten osittain kaksikaistaisia kiertoliittymiä pitäisi tutkia lisää, että saataisiin välityskyvyn ylittäviä mittaushavaintoja sekä suurilla että pienillä kiertävän liikenteen määrillä.

Osittain kaksikaistaisissa kiertoliittymissä havaittiin selvä ero saapuvassa liikennemäärässä kiertävän liikenteen kaistajakaumasta riippuen. Kun suuri osa kiertävästä liikenteestä oli ulommalla kiertävällä kaistalla, pieneni välityskyky. Kirkkonummen ainoassa viiden minuutin jaksossa, jossa välityskyky saavutettiin, oli saapuvan ja kiertävän liikenteen yhteenlaskettu määrä oli 1478 ajon/h (638,3 hay/h + 840 ajon/h), kun kiertävästä liikenteestä 79 % oli ulommalla kiertävällä kaistalla. Hyrylän osittain kaksikaistaisesta kiertoliittymästä suurin saapuvan ja kiertävän liikenteen yhteenlaskettu määrä viiden minuutin aikajaksolta oli 1661,7 ajon/h (365,7 hay/h + 1296 ajon/h), kun ulommalla kiertävällä kaistalla oli 44 % kiertävistä ajoneuvoista. Kyseisen aikajakson aikana tulosuunnalla ei ollut jatkuvaa jonoa eli välityskykyä ei saavutettu.

Näiden mittaushavaintojen perusteella kiertoliittymistä menee läpi enemmän liikennettä kuin mitä teoreettisesti voisi mennä. Tämä voi johtua käytettyjen aikaväliparametrien suuruudesta tai siitä, että liikennemääriä tutkittiin viiden minuutin aikajaksoissa. Jos olisi käytetty esimerkiksi 15 minuutin aikajaksoja, olisi se tuottanut hieman pienempiä liikennemäärien arvoja.

## **6.2 Aikavälit**

Kun mittaushavainnoista laskettiin aikaväliestimaatteja, tehtiin niistä tarkempia päätelmiä sijoittamalla laskettuja arvoja suomalaiseen laskentamenetelmään. Suositukset ovat siis tarkistettu ainoastaan suomalaisella laskentamenetelmällä, eikä niiden soveltuvuutta muualle voida taata. Suositukset pohjautuvat mittaushavaintoihin, mutta koska mitatuilla parametrien arvoilla välityskykyestimaatit olivat hyvin suuria, jouduttiin mitattuja parametreja muokkaamaan eli kalibroimaan mallia. Raskaan liikenteen vaikutusta kriittisen aikavälin estimaattiin ei erikseen tutkittu.

Kriittinen aikaväli on mittaushavainnoista saatujen tulosten perusteella pienempi kuin tämänhetkinen ohjearvo (4,3–4,6 s). Tämä lopputulos koskee luonnollisesti vain viittä tässä tutkittua kiertoliittymää, mutta sitä voidaan pitää ainakin suuntaa-antavana. Jos saatuja tuloksia verrataan Luttisen (2004) tutkimukseen, voidaan huomata, että Helsingissä sijaitsevista Pukinmäen ja Tapanilan kiertoliittymistä on estimoitu saman suuruusluokan arvoja

kriittiselle aikavälille kuin tässä tutkimuksessa (2,4–2,6 s, Tapanilasta 2,6 s on saatu suurimman uskottavuuden menetelmällä, jossa aikavälipareista on poistettu ne, joissa hyväksytty aikaväli oli yli 11 sekuntia). Suosituksena voidaan antaa suurehkojen liikennemäärien kiertoliittymille pääkaupunkiseudulla kriittisen aikavälin arvoksi 2,5–3,5 sekuntia. Kriittiselle aikavälille on hankala antaa yhtä ohjearvoa, koska vähä- ja vilkasliikenteisistä liittymistä saadaan keskenään erisuuruisia arvoja, vaikka liittymät olisivat muuten samanlaisia. Hyrylän osittain kaksikaistaisen kiertoliittymän itäisen haaran iltaruuhkan mittaushavaintojen perusteella kriittisen aikavälin arvoksi voidaan suositella 2,7 sekuntia ulommalle kiertävälle kaistalle ja 2,5 sekuntia sisemmälle kiertävälle kaistalle, kun kyseessä on kiertävän liikenteen osalta erittäin vilkas kiertoliittymä. Muista osittain kaksikaistaisista kiertoliittymistä saatujen mittaushavaintojen perusteella kriittiseksi aikaväliksi voidaan suositella 3,4–3,5 sekuntia ulommalle kiertävälle kaistalle tai kun kiertäviä kaistoja on yksi. Sisemmälle kiertävälle kaistalle voidaan suositella 3,2–3,3 sekuntia. Yksikaistaisille kiertoliittymille voidaan suositella kriittisen aikavälin arvoksi 3,3 sekuntia.

Purkautumisaikavälin arvioimiseen voidaan tämän tutkimuksen tulosten perusteella käyttää edelleen suomalaisen menetelmän kaavaa (19), ja sen käyttöä voisi laajentaa myös osittain kaksikaistaisiin kiertoliittymiin. Vaikka mittaushavainnoista saatiin jopa hieman pienempiä arvoja, ovat kaavalla 19 lasketut estimaatit realistisempia.

Kiertävän liikenteen aikavälijakauman minimiarvona osittain kaksikaistaisille kiertoliittymille voidaan käyttää suomalaisen menetelmän yhtälöä hieman muutettuna ja yksikaistaisille samaa yhtälöä ilman muutosta. Tulosten perusteella osittain kaksikaistaisissa kiertoliittymissä joko ajonopeudet ovat suurempia tai ajoneuvojen välit lyhyempiä. Näin ollen osittain kaksikaistaisissa kiertoliittymissä voidaan kaavan 20 toinen vakiotermi muuttaa arvoon 1,8, joka muuttaa kaavan muotoon  $t_p = 1,8 - 0,0067(d - 8)$ . Keskisaarekkeen halkaisija  $d$  voi olla 26–50 metriä (tutkitut kiertoliittymät).

### 6.3 Liittymien toimivuus

Tutkitut osittain kaksikaistaiset kiertoliittymät toimivat erittäin hyvin. Hyrylässä liittymästä mitattiin suuria liikennemääriä ja ainoa ruuhkautuminen aiheutui muusta syystä kuin itse kiertoliittymästä. Samoin tapahtui Kirkkonummen kiertoliittymässä.

Osittain kaksikaistaisen kiertoliittymien valintaa liittymäratkaisuksi olisi osassa tutkimuskohteista voitu miettiä tarkemmin. Suutarilassa pohjois-eteläsuunnassa liittymässä on kaksi kaistaa (saapuva-kiertävä-poistuva), joita molempia voi käyttää läpi- eli suoraan ajamiseen. Ulompaa kiertävää kaistaa käytti alle prosentti kiertävistä ajoneuvoista, mikä vähintäänkin kyseenalaistaa kyseisen kaistan hyödyn. Etelään poistuvista kaistoista oikeanpuoleinen kaista oli kuitenkin lännestä saapuvien oikealle kääntyvien pääasiallinen poistumiskaista. Voidaankin päätellä, että jos poistumiskaistoja on kaksi, joista toinen päättyy, on parempi tehdä päättyväksi kaistaksi oikea kaista, koska Kirkkonummella etelän suuntaan vasenta poistuvaa (ja päättyvää) kaistaa käytti huomattavasti pienempi osa poistuvista ajoneuvoista kuin oikeaa. Vastaavasti läntisen kiertotilan ulompaa kaistaa käytettiin paljon enemmän kuin sisempää, mikä vaikuttaa myös välityskykyyn pienentäen sitä.

Matinkylän kiertoliittymä oli mielenkiintoinen tutkimuskohde. Liittymän liikennemäärät olivat suuria ja välityskyky saavutettiin. Suojatiet kahdessa haarassa olivat varsin lähellä kiertotilaa, mikä alensi välityskykyä, erityisesti liittymästä poistuvien kevyttä liikennettä väistävien ajoneuvojen aiheuttaessa jonon kiertotilaan. Nykyiset ajojärjestelyt kauppakeskus

Isoon Omena- ja todennäköisesti muuallekin läntiseen Matinkylään, ovat johtaneet läntisen haaran kiertävän liikenteen kasvuun. Tuovisen ja Enbergin (2009) tutkimuksessa läntisestä haarasta poistuvia ajoneuvoja oli iltaruuhkassa noin 300 ajon/h enemmän kuin tässä tutkimuksessa. Todennäköisesti uusien toimistotalokeskittymien ansiosta tässä tutkimuksessa aamuruuhkassa oli samaan suuntaan liikennettä myös noin 300 ajon/h enemmän. Tämän kiertoliittymän välityskykyä voisi kasvattaa helpoiten siirtämällä suojateitä noin 10–15 metriä poispäin liittymästä. Mutta jos pohjoisesta tulosuunnasta ei poisteta liikennevaloja, ei parannustoimenpiteitä ole hyödyllistä suorittaa. Mutta, jos valot poistetaan, pohjoiseen tulosuuntaan voitaisiin harkita toista kaistaa, josta pääsee kääntymään ainoastaan oikealle. Tämä lisäisi todennäköisesti pohjoisen haaran lisäksi myös läntisen ja eteläisen haaran välityskykyä.

Hyrylän yksikaistainen kiertoliittymä oli hyvä tutkimuskohde välityskykytutkimuksen kannalta. Eteläisessä (Helsingin suunnalta tulevassa) haarassa havaittiin pitkiä jonoja iltaruuhkan aikana. Saapuvan, kiertävän ja poistuvan kaistan lisääminen etelä-pohjoissuunnassa todennäköisesti vähentäisi ruuhkautumista.

## 6.4 Virhelähteet

Virhettä merkintäajoissa arvioitaessa katsottiin yhden videon osa (10 minuuttia) kahteen kertaan, ensin pienellä toistonopeudella ja sen jälkeen tavallisella toistonopeudella. Sitten tarkasteltiin, miten paljon kahdella eri katselukerralla merkittyjen ajoneuvojen merkintäajankohdat poikkesivat toisistaan. Virheen keskiarvo oli -0,017 sekuntia, joka on varsin hyvä tarkkuus. Virhe vaihteli pääasiassa välillä -0,099 ja 0,099 sekuntia, ollen välillä myös nolla. Tämä tarkoittaa, että ajoneuvon merkintätarkkuus oli 0–3 kuvaa videolla, jossa oli 30 kuvaa per sekunti. Virheen arviointi tehtiin samaan aikaan, kun ensimmäisen kohteen videota alettiin käsitellä, joten tarkkuus ei todennäköisesti ainakaan huonontunut työn edetessä. Ajoneuvojen nopeudet kiertoliittymissä ovat melko pieniä (20–30 km/h), joten 0,1 sekunnin aikana ajoneuvo liikkuu enimmillään keskimäärin 0,6–0,8 metriä (liite 4).

Jos samaa 0,1 sekunnin virhettä käytetään aikavälitarkasteluissa, voidaan päätellä, että pahimmassa mahdollisessa tilanteessa maksimivirheeksi muodostuu 0,2 sekuntia sekä purkautumisaikaväli- että kriittisen aikavälin tarkastelussa. Keskimääräistä virhettä käytettäessä virheeksi muodostuu pahimmassa mahdollisessa tapauksessa 0,034 sekuntia. Kaikki lopulliset tulokset on pyöristetty 0,1 sekunnin tarkkuuteen, joten virhe on huomioitu siten.

Osittain kaksikaistaisissa kiertoliittymissä käytettiin yhtä konfliktialuetta, jonka rajalla ajoneuvot rekisteröitiin. Tämän seurauksena esimerkiksi saapuvan oikean kaistan hyväksytyt ja hylätyt aikavälit olivat pidempiä kuin vasemman kaistan. Joten oikean kaistan tuloksia käsiteltäessä kiertävän liikenteen ajoneuvon oikean saapuvan kaistan konfliktipisteeseen saapumisaikaksi merkittiin kiertävän ajoneuvon saapumisaika vasemman kaistan konfliktipisteeseen, mistä vähennettiin ajoneuvojen keskimääräinen ajoaika tästä pisteestä oikean kaistan konfliktipisteeseen. Tämä hieman epätarkka menetelmä toimi kuitenkin hyvin, koska jo videoita purettaessa erikoisuudet esimerkiksi ajonopeuksissa huomioitiin ja viimeistään Excelissä mittaushavaintoja käsiteltäessä voitiin havaita, jos ajoneuvojen saapumisjärjestys oli sekoittunut.

Hyrylän ja Matinkylän yksikaistaisten kiertoliittymien kuvauksissa oli pimeyden vuoksi tehtävä kompromisseja. Molemmissa kohteissa jouduttiin toisen videokameran valoherkkyttä

kasvattamaan, mikä johti kuvaa per sekunti -määrän pienenemiseen. Tämä jouduttiin kuitenkin tekemään vain hyvin lyhyeksi ajaksi, joten vaikutus tuloksiin on erittäin pieni.

Matinkylän kiertoliittymän kuvauksissa toinen kamera lopetti kuvaamisen muutaman minuutin välein noin kymmeneksi sekunniksi. Kuvat näiltä ajoilta tallentuivat kuitenkin kovalevyille, mutta harvimmillaan vain noin 1,7 sekunnin välein. Näiltä ajoilta tiedot kerättiin manuaalisesti, ja jouduttiin päättämään oikea kellonaika, jos ajoneuvo ei ollut juuri oikeassa pisteessä. Tämänkään ongelman ei pitäisi vaikuttaa tuloksiin merkittävästi.

Myös ajoneuvoluokissa voi olla pieniä virheitä. Raskaat ajoneuvot pystyttiin kuitenkin tunnistamaan varmasti muista ajoneuvoista. Pakettiautot ja isot henkilöautot saattoivat pimeällä videolla sekoittua keskenään, mutta nämä virheet saatiin todennäköisesti korjattua jälkikäteen (eli kun ajoneuvo näkyi paremmassa valossa). Pakettiautoista ei kuitenkaan tehty mitään erillistä tarkastelua, joten mahdollinen virhe ei olisi kovinkaan haittaava. Virhe vaikuttaisi vain jakaumaan ajoneuvoluokissa ja liitteessä 8 esitettyihin havaintoihin.

Kun liittymässä oli kaksi kiertävää kaistaa, aina ei ollut helppoa arvioida, kummalla kaistalla ajoneuvo on. Jos ajoneuvo oli keskellä kaistoja, merkittiin kaistaksi se, kumpaa kaistaa ajoneuvo käytti saapuessaan liittymään ja yleensä myös poistuessaan liittymästä. Ajoneuvot eivät vaihtaneet tavallisesti kaistaa kiertotilassa, mutta sisempää kiertävää kaistaa käytettiin monesti oikaisemiseen.

Videoiden purkuohjelman käyttöä hankaloitti, jos tietokoneella tapahtui samaan aikaan jokin muuta, esimerkiksi virusskannaus tai muu kovalevyä rasittava toiminta. Tällöin kaikki painallukset eivät välttämättä tallentuneet lokitiedostoon, mutta kun tämä ongelma havaittiin, ohjelmaa ei käytetty silloin, jos kovalevy teki selvästi normaalia enemmän töitä. Myöhemmin ohjelmaan tehtiin reaaliaikainen kolmen edellisen painalluksen loki ja merkkivalo, joiden avulla pystyttiin havaitsemaan välittömästi, jos jokin painallus ei tallentunut. Videoiden purkajan kokemus myös auttoi, eli ennen edellä mainitun lokin koodaamista tallentamisoongelma pystyttiin havaitsemaan. Tietokoneeseen tuli tällöin pieni ”hikka”, joka oli merkki siitä, että jokin virhe saattoi tapahtua.

Koska ajoneuvoista syntyi merkintöjä yhteensä yli satatuhatta kappaletta, on melko todennäköistä, että otokseen mahtui myös virheitä. Excelissä oli käytössä erilaisia varmistusmenetelmiä, joilla selvät virheet voitiin havaita, ja ne voitiin tarkistaa videomateriaalista. Tällaisia virheitä olivat esimerkiksi täysin samalla kellonajalla kirjatut tapahtumat, kuten esimerkiksi samaan aikaan odotustilaan tuleva ajoneuvo ja kiertävä ajoneuvo konfliktialueella (videonpurkuohjelma pystyi tunnistamaan useamman samanaikaisen näppäinpainalluksen). Vaikka kyseessä ei ole varsinaisesti virhe, Excelissä käytettävät funktiot tulkitsivat kellonajat väärin. Funktiot eivät siis voineet käsitellä oikein havaintoja, jotka tapahtuivat tasan samaan aikaan. Näissä tapauksissa toisen tapahtuman kellonaikaan lisättiin tuhannesosasekunti.

## **6.5 Pohdintaa**

Tutkimuksesta saadut tulokset ja niiden perusteella tehdyt suositukset eivät välttämättä sovi kaikkialle. Kaikista tutkituista kiertoliittymistä saatiin samaa suuruusluokkaa olevia arvoja eri aikaväliparametreille, mutta niiden yleistettävyyttä ei voida tarkasti tietää. Tulokset ovat kuitenkin luotettavia, mutta koska kyseessä on melko teoreettista tarkastelua, voi niissä olla tulkinnanvaraa.

Tutkimuksen aikana tuli ilmi, että automaattinen kuvantunnistus voisi olla avainsana seuraavassa vastaavanlaisessa tutkimuksessa. Luonnollisesti virheet saataisiin minimiin luotettavalla automaattisella videonpurkuohjelmistolla, mutta tässäkin on omat haasteensa.

Jatkotutkimuskohteiksi voidaan ehdottaa ainakin jo tässä tutkimuksessa käsiteltyä Hyrylän kaksikaistaista kiertoliittymää, sekä Matinkylän kiertoliittymää, josta myös pitäisi lähivuosina tulla kaksikaistainen. Kiertoliittymien yleistyessä jatkuvasti, uusia mielenkiintoisia tutkimuskohteita saadaan varmasti lisää. Tutkimuskohteen tärkein ominaisuus välityskyky- tai aikavälitutkimuksen kannalta kuitenkin on, että kiertotila ei tukkeudu suojaiteiden tai liittymää ympäröivän liikenneinfran vaikutuksesta.

Raskaan liikenteen vaikutusta kriittiseen aikaväliin voisi tutkia jatkossa lisää. Tässä tutkimuksessa on kerätty ja eritelty tietoa paljon, mutta yksittäisen raskaan ajoneuvon vaikutusta hyväksytyn tai hylätyn aikavälin pituuteen ei selvitetty.

Aikaväliparametrien suuruusluokkaa selvittäessä kävi nopeasti ilmi, että mittaushavainnoista lasketut aikaväliparametrien estimaatit antavat liian suuria arvioita välityskyvyille. Olikin syytä pohtia, onko tutkimusmenetelmässä jotain, jonka johdosta kriittisen aikavälin estimaatit muodostuvat todellisuutta lyhyemmiksi. Näin ei kuitenkaan todennäköisesti ole. Kaikissa liittymissä havaittiin melko paljon hyvin lyhyitä hyväksytyjä aikavälejä, mikä saattaa viitata siihen, että kiertoliittymissä ajetaan rohkeammin kuin ennen. Kriittiselle aikavälille saadut estimaattien arvot ovat siis pieniä, mutta mikään ei viittaa siihen, etteivät ne voisi olla niin pieniä. Olennaista onkin, että suositusten perusteena ollut malli eli suomalainen menetelmä antaisi mahdollisimman luotettavan arvion välityskyvystä. Suositukset aikaväleille perustuvatkin siihen, että teoreettinen välityskyky ei alita mitattuja liikennemääriä, mutta ei mielellään ylitäkään. Kaksikaistaisissa liittymissä parametreille oli hankalampi antaa suosituksia, koska todellinen välityskyky ylittyi vain viiden minuutin ajan. Osittain kaksikaistaisille kiertoliittymille tehty suositukset voivat siis osoittautua alimitoitetuksi. Purkautumisaikavälin estimaatti määrää teoreettisen välityskyvyn, kun kiertävää liikennettä on hyvin vähän. Purkautumisaikavälin suositus tehtiin siis harkiten, koska sille mitattiin monista liittymistä pienempiä arvoja kuin mitä mallin kalibroinnin jälkeen suositeltiin. Suositelluilla aikaväliparametrien arvoilla ja suomalaisella menetelmällä lasketut välityskykyestimaatit sopivat tutkittuihin kiertoliittymiin erittäin hyvin. Näillä laskettu teoreettinen välityskyky saattaa paikoin olla hieman suurempi kuin mitattu liikennemäärä, mutta tämä tapa tuottaa paremmat välityskykyestimaatit kuin muut menetelmät.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia välityskykyä. Nykyisillä parametrien ohjearvoilla laskettu välityskyky on liian pieni, kun sitä verrataan mitattuihin liikennemääriin. Mitatuilla parametrien arvoilla laskettu välityskyky on liian suuri. Suositelluilla parametrien arvoilla päästään tilanteeseen, jossa liikennemäärät ylittävät teoreettisen välityskyvyn harvoin, kuitenkin välityskykyä liioittelematta. Aikaväliparametreja tulee tutkia vielä jatkossakin, jos luotettava matemaattinen malli välityskyvyille halutaan löytää.



## 7 Yhteenveto

Tässä työssä on maastomittausten ja eri laskentamenetelmien avulla arvioitu kiertoliittymien välityskykyä ja siihen vaikuttavien parametrien suuruutta. Työssä käytettyjen laskentamenetelmien avulla voidaan laskea tulosuunnan välityskyky sekä yksi- että kaksikaistaisissa kiertoliittymissä. Mittauksissa havaittuja liikennemääriä verrattiin laskentamenetelmien tuottamiin arvoihin.

Tutkimuskohteiksi valittiin mahdollisimman ruuhkautuneita kiertoliittymiä pääkaupunkiseudulta ja sen välittömästä läheisyydestä. Kohteita oli yhteensä viisi, joista kolme on osittain kaksikaistaisia ja kaksi yksikaistaisia. Kiertoliittymät Hyrylässä (Tuusula), Suutarilassa (Helsinki) ja Kirkkonummella ovat osittain kaksikaistaisia. Matinkylän (Espoo) ja Hyrylän (Tuusula) kiertoliittymät ovat yksikaistaisia. Hyrylässä tutkittiin siis kahta erityyppistä kiertoliittymää.

Tutkimusmenetelmänä käytettiin videokuvausta. Kuvauksia tehtiin syys- ja lokakuussa vuosina 2014 ja 2015. Videoilta purettiin saapuvien ajoneuvojen saapumisajat sekä odotusalueelle että konfliktialueelle ja kiertävien ajoneuvojen saapumisajat konfliktialueelle. Mittaushavaintoja saatiin 40 minuuttia - 3 tuntia kaikista liittymistä (ja haaroista) sekä aamu- että iltaruuhkasta.

Osittain kaksikaistaisten kiertoliittymien välityskyky ei ylittynyt kuin yhdessä viiden minuutin aikajaksossa Kirkkonummen kiertoliittymässä. Molemmissa yksikaistaisissa kiertoliittymissä taas välityskyky ylittyi yhteensä 76 tutkitussa viiden minuutin aikajaksossa. Näiden aikajaksojen mitattuja liikennemääriä verrattiin analyttisillä menetelmillä estimoituun välityskykyyn.

Tutkituista analyttisistä menetelmistä ainoastaan tanskalainen menetelmä arvioi välityskyvyn liian suureksi. Muut menetelmät aliarvioivat välityskykyä. Suomalaisella ja hollantilaisella menetelmällä laskettu teoreettinen välityskyky poikkeaa mittaushavainnoista sitä enemmän, mitä enemmän on kiertävää liikennettä. Tanskalainen ja yhdysvaltalainen menetelmä käyttäytyvät päinvastoin. Saksalaisella menetelmällä lasketun ja mitatun välityskyvyn ero (regressioanalyysin perusteella) pysyy lähes samana riippumatta kiertävän liikenteen määrästä.

Kriittiselle aikavälille arvioitiin estimaatteja suurimman uskottavuuden (maximum likelihood) ja Raffin menetelmällä. Tulokset vaihtelivat 2,5 ja 3,0 sekunnin välillä eli olivat selvästi alhaisempia kuin ohjearvo. Purkautumisaikavälille saadut tulokset olivat 1,9–2,4 s, olleen näin samaa suuruusluokkaa nykyisten ohjearvojen kanssa. Kiertävän liikenteen minimiaikavälin arvolle saatiin tuloksia kahdella eri tavalla. Suurimman uskottavuuden estimaattoria käyttämällä tulos (1,8 s) saatiin valitsemalla se aiempien tutkimusten perusteella. Numeerista optimointia/estimointia käyttämällä tulokset olivat 1,5–1,8 sekuntia. Tulokset ovat samaa suuruusluokkaa ohjearvojen kanssa.

Tämän tutkimuksen perusteella suomalaista menetelmää käytettäessä voidaan suositella seuraavia arvoja. Kriittiselle aikavälille voidaan käyttää yksikaistaisissa kiertoliittymissä arvoa 3,3 sekuntia ja osittain kaksikaistaisille 2,5–3,5 sekuntia, riippuen kiertävien kaistojen lukumäärästä (ja vilkkaudesta). Purkautumisaikavälille voidaan suositella tämänhetkisiä ohjearvoja 2,2–2,5 sekuntia, joka voidaan laskea sekä yksikaistaisille että osittain kaksikaistaisille

kiertoliittymille suomalaisessa menetelmässä käytettävällä yhtälöllä. Kiertävän liikenteen minimiaikavälille suositellaan arvoja 1,5–2,0 sekuntia.

Kaiken kaikkiaan tutkitut osittain kaksikaistaiset kiertoliittymät olivat toimivuudeltaan hyviä ja luonnollisesti välityskyvyltään parempia kuin yksikaistaiset. Jos osittain kaksikaistaisen kiertoliittymän haarasta poistuu kaksi kaistaa, joista toinen päättyy, kannattaa päättyväksi kaistaksi tämän tutkimuksen perusteella tehdä oikeanpuoleinen kaista. Suutarilan kiertoliittymä oli tässä mielessä toimivuudeltaan parempi kuin Kirkkonummen kiertoliittymä. Yleisesti ottaen osittain kaksikaistainen kiertoliittymä on toimiva ratkaisu kohteisiin, joissa esiintyy melko suuria liikennemääriä. Esimerkiksi Hyrylän osittain kaksikaistainen kiertoliittymä toimi silloinkin hyvin, kun itäisen haaran saapuvan ja kahden kiertävän kaistan yhteenlaskettu liikennemäärä oli 2532 ajon/h.

## Lähdeluettelo

- Aarnikko, Tenho ja Karjalainen, Jenni. 2006. *2-kaistaisten kiertoliittymien suunnitteluperiaatteet*. Helsinki 2006. Tiehallinto. Tiehallinnon selvityksiä 42/2006, 65 s + liitt. 1 s. ISSN 1459-1553, ISBN 978-951-803-778-4, TIEH 3201018-v.
- DHV & Royal Haskoning. 2009. *Roundabouts – Application and Design*. Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Management. Käsikirja. Hollanti 2009.
- Hagring, Ola. 1998. *Vehicle-vehicle Interactions at Roundabouts and their Implications for the Entry Capacity. A Methodological Study with Applications to Two-lane Roundabouts*. Väitöskirja. Lund Institute of Technology. Lund 1998. 208 s. ISSN 0346-6256.
- FGSV. 2015a. *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen. Teil S: Stadtstraßen (HBS)*. Bundesministerium für Verkehr. Ausgabe 2015. ISBN 978-3-86446-103-3.
- FGSV. 2015b. *Arbeitspapier Turbokreisverkehre (Teil W2)*. HBS 2015. Bundesministerium für Verkehr. Ausgabe 2015. ISBN 978-3-86446-100-2.
- HCM. 2010. *Roundabouts: An Informational Guide*. NCHRP report 672. Project 3-65A. ISSN 0077-5614. ISBN 978-0-309-15511-3. Library of Congress Control Number 2010937912. National Academy of Sciences 2010.
- Irvenå J., Randahl S. 2010. *Analysis of gap acceptance in a saturated two-lane roundabout and implementation of critical gaps in VISSIM*. Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Teknik och samhälle. Trafik och väg, 194. Thesis. Lund 2010. ISSN 1653-1922.
- Laininen, Pertti. 2000. *Tilastollisen analyysin perusteet*. Yliopistokustannus / Otatieto. Helsinki 2000. ISBN 951-672-301-2.
- Lehtonen, K., Saarelainen J., Pitkänen J-P, Vesajoki T., Kauhanen, K. 2012. *Liikenteen välityskykytarkastelukäytännöt - Esiselvitys*. Liikennevirasto, hankesuunnitteluosasto. Helsinki 2012. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 37/2012. 39 sivua ja 4 liitettä. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-189-4.
- Liikennevirasto. 2013. *Tieliikenteen toimivuuden arviointi*. Liikennevirasto, suunnitteluosasto/suunnittelun ohjaus -yksikkö. Helsinki 2013. Liikenneviraston ohjeita 36/2013. ISSN-L 1898-663X, ISSN 1798-6648, ISBN 978-952-255-366-9.
- Luttinen R. T. 1999. *Properties of Cowan's M3 Headway Distribution*. Transportation Research record 1678. Paper No. 99-0578. S. 189–196.
- Luttinen R. T. 2004. *Capacity and Level of Service at Finnish Unsignalized Intersections*. Helsinki 2004, Finnish Road Administration, Finnra Reports 1/2004, ISBN 951-803-180-0, ISSN 1457-9871, TIEH 3200849E.

Luttinen R. T., Pursula M., Innamaa S. 2005. *Liikennevirran ominaisuudet*. Opetusmoniste 15. Teknillinen korkeakoulu, Liikennetekniikka. Espoo 2005. ISBN 951-22-7995-9, ISSN 0781-5387.

Tamminen, Elina. 2013. *Simulointien ja analyttisten menetelmien hyödyntäminen suomalaisten kiertoliittymien välityskykytarkasteluissa*. Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö. Liikennealan koulutusohjelma. Riihimäki. 57 s.

Trafikteknik. 2010. *Kapacitet og serviceniveau*. Vejdirektoratet – Vejregelrådet. Käsikirja. Tanska 2010.

Troutbeck R. 1997. *A review on the process to estimate the Cowan M3 headway distribution parameters*. Traffic engineering and control. 11/1997. S. 600–603.

Tuovinen P., Enberg Å.: 2009. *Kiertoliittymien välityskyky*. Tiehallinto, Keskushallinto. Tiehallinnon selvityksiä 17/2009. Helsinki 2009. ISSN 1459-1553, ISBN 978-952-221-205-4, TIEH 3201131-v.

Vasconcelos Luís, Silva Ana Bastos, Álvaro Seco, João Silva. 2012. *Estimating the parameters of Cowan's M3 headway distribution for roundabout capacity analyses*. The Baltic journal of road and bridge engineering. 2012. 7(4):261-268.

## Liiteluettelo

- Liite 1. Ajoneuvoluokat, kaistajakaumat ja keskimääräiset liikennemäärät. 10 sivua.
- Liite 2. Purkautumisaikavälit. 4 sivua.
- Liite 3. Estimaatit kriittisille aikaväleille liittymä- ja haarakohtaisesti sekä pois jääneet haarat ja suurimalle hylätylle aikavälille asetettu minimiarvo suurimman uskottavuuden menetelmässä. 5 sivua.
- Liite 4. Kiertävän liikenteen ajonopeudet. 2 sivua.
- Liite 5. Lyhyiden jonojen ajalta mitatut liikennemäärät. 1 sivu.
- Liite 6. Saapuneet ajoneuvot / kiertävän liikenteen aikaväli. 4 sivua.
- Liite 7. Hyväksytyjen ja suurimpien hylättyjen aikavälien kertymäfunktiot liittymittäin. 2 sivua.
- Liite 8. Saapuvan ajoneuvon konfliktialueelle siirtymisen kesto kiertävän ajoneuvon jälkeen, kiertävän ajoneuvon tyyppin mukaan. 1 sivu.
- Liite 9. Minuutin aikajaksoissa esitetyt liikennemäärät. 1 sivu.
- Liite 10. Eri menetelmillä laskettu välityskyky ja mitattu välityskyky. 5 sivua.

**Liite 1. Ajoneuvoluokat, kaistajakaumat ja keskimääräiset liikennemäärät.**

Hyrylä 23.10.2014		Kevyet ajoneuvot [%]			Raskaat ajoneuvot [%]					Raskaita [%]	Lkm yht.	Keskim. [ajon./h]	Kaista-jakauma
Tulosuunta	6:45-7:50	Ha	Pa	Mp	Ha/Pa + Pv	La	Ka	Ka + pv	Traktori				
Etelä	Saapuva oikea	79,0	12,5	0,3	0,6	0,9	5,6	0,6	0,3	8,2	319	290	46 %
	Saapuva vasen	79,8	13,6	0,0	0,3	0,3	4,5	1,3	0,3	6,5	382	348	54 %
	Kiertävä	55,4	14,1	0,0	2,2	0,0	10,9	17,4	0,0	30,4	92	84	
Pohjoinen	Saapuva oikea	81,3	12,2	0,0	0,4	1,4	2,8	2,0	0,0	6,6	502	461	48 %
	Saapuva vasen	90,5	8,2	0,0	0,2	0,0	1,1	0,0	0,0	1,3	547	502	52 %
	Kiertävä	78,4	14,4	0,0	0,7	0,0	5,0	1,2	0,2	7,2	416	382	
Länsi	Saapuva oikea	79,4	15,0	0,0	0,9	0,0	3,7	1,1	0,0	5,6	655	601	71 %
	Saapuva vasen	76,6	12,3	0,0	0,7	0,0	4,1	6,3	0,0	11,2	269	247	29 %
	Kiertävä vasen	82,7	14,1	0,0	0,4	1,3	1,1	0,4	0,0	3,2	467	429	56 %
	Kiertävä oikea	88,5	9,8	0,0	0,5	0,2	1,0	0,0	0,0	1,7	599	550	44 %
Itä	Saapuva	83,6	8,6	0,0	3,4	0,0	3,4	0,9	0,0	7,8	116	107	
	Kiertävä vasen	78,1	12,8	0,0	0,5	0,2	4,7	3,5	0,2	9,1	430	396	60 %
	Kiertävä oikea	77,7	11,7	0,3	0,7	1,0	5,8	2,4	0,3	10,3	291	268	40 %

Ha = Henkilöauto (+ mopoauto)

Pa = Pakettiauto

Mp = Moottoripyörä tai mopo

Ha/Pa + Pv = Henkilö- tai pakettiauto ja peräkärry

La = Linja-auto

Ka = Kuorma-auto

Ka + pv = Kuorma-auto ja perävaunu

Traktori = Traktori, puimuri, työkonne tai muu hidas raskas ajoneuvo

Hyrylä 23.10.2014		Kevyet ajoneuvot [%]			Raskaat ajoneuvot [%]					Raskaita [%]	Lkm yht.	Keskim. [ajon./h]	Kaista-jakauma
Tulosuunta	15:00-16:30	Ha	Pa	Mp	Ha/Pa + Pv	La	Ka	Ka + pv	Traktori				
Etelä	Saapuva oikea	85,5	11,6	0,0	0,6	0,3	1,7	0,3	0,0	2,9	1472	973	50 %
	Saapuva vasen	81,8	13,4	0,0	1,5	0,0	2,2	1,2	0,0	4,9	1496	988	50 %
	Kiertävä	79,0	8,4	0,5	0,9	0,0	5,1	6,1	0,0	12,1	214	141	
Pohjoinen	Saapuva oikea	81,9	9,8	0,0	1,0	1,3	3,7	2,4	0,0	8,3	630	416	56 %
	Saapuva vasen	89,5	8,1	0,4	0,4	0,0	1,4	0,2	0,0	2,0	505	333	44 %
	Kiertävä	78,2	14,9	0,0	1,9	0,0	2,8	2,3	0,0	7,0	1062	701	
Länsi	Saapuva oikea	80,5	11,7	0,0	2,3	0,0	2,0	3,3	0,2	7,8	605	406	73 %
	Saapuva vasen	79,0	7,6	0,4	1,3	0,0	5,4	6,3	0,0	12,9	224	150	27 %
	Kiertävä vasen	85,5	9,2	0,0	1,0	1,6	2,4	0,2	0,0	5,2	498	334	46 %
	Kiertävä oikea	88,8	8,2	0,3	0,5	0,2	1,7	0,2	0,0	2,6	582	390	54 %
Itä	Saapuva	81,9	12,6	0,0	1,6	0,0	2,7	1,1	0,0	5,5	182	122	
	Kiertävä vasen	81,4	13,2	0,0	1,4	0,0	2,4	1,7	0,0	5,5	1647	1101	54 %
	Kiertävä oikea	85,2	11,5	0,0	0,7	0,3	1,7	0,6	0,0	3,3	1382	924	46 %

Ha = Henkilöauto (+ mopoauto)

Pa = Pakettiauto

Mp = Moottoripyörä tai mopo

Ha/Pa + Pv = Henkilö- tai pakettiauto ja peräkärry

La = Linja-auto

Ka = Kuorma-auto

Ka + pv = Kuorma-auto ja perävaunu

Traktori = Traktori, puimuri, työkone tai muu hidas raskas ajoneuvo

Kirkko-nummi	18.9.2014	Kevyet ajoneuvot [%]			Raskaat ajoneuvot [%]								
Tulosuunta	6:50-8:05 tai 6:50-9:05	Ha	Pa	Mp	Ha/Pa + Pv	La	Ka	Ka + pv	Traktori	Raskaita [%]	Lkm yht.	Keskim. [ajon./h]	Kaista- jakauma
Etelä 6:50-9:05	Saapuva oikea	80,9	11,2	2,4	0,6	0,8	3,8	0,2	0,2	5,4	661	298	52 %
	Saapuva vasen	82,4	7,3	5,3	0,2	2,6	1,9	0,2	0,2	5,0	618	279	48 %
	Kiertävä	74,9	8,8	1,2	0,0	12,9	1,8	0,6	0,0	15,2	171	77	
Pohjoinen 6:50-8:05	Saapuva oikea	87,1	7,4	1,5	0,4	1,8	1,4	0,3	0,1	4,0	781	608	95 %
	Saapuva vasen	81,0	7,1	11,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	42	33	5 %
	Kiertävä	83,1	5,5	3,8	0,3	3,5	3,2	0,3	0,3	7,6	344	268	
Länsi 6:50-9:05	Saapuva	84,0	5,9	0,3	0,0	6,6	2,8	0,3	0,0	9,7	288	224	
	Kiertävä vasen	80,0	11,1	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45	35	6 %
	Kiertävä oikea	88,0	8,2	0,7	0,4	0,3	1,8	0,3	0,1	3,0	669	521	94 %
Itä 6:50-8:05	Saapuva	83,1	9,9	1,4	0,0	0,0	5,6	0,0	0,0	5,6	71	58	
	Kiertävä vasen	82,3	7,7	5,2	0,2	2,3	2,0	0,2	0,2	4,9	639	525	49 %
	Kiertävä oikea	78,3	11,3	2,4	0,6	3,7	3,3	0,3	0,1	8,0	674	554	51 %

Ha = Henkilöauto (+ mopoauto)

Pa = Pakettiauto

Mp = Moottoripyörä tai mopo

Ha/Pa + Pv = Henkilö- tai pakettiauto ja peräkärry

La = Linja-auto

Ka = Kuorma-auto

Ka + pv = Kuorma-auto ja perävaunu

Traktori = Traktori, puimuri, työkonne tai muu hidas raskas ajoneuvo



Kirkko- nummi	18.9.2014	Kevyet ajoneuvot [%]			Raskaat ajoneuvot [%]								
Tulosuunta	Välillä 15:47- 17:10	Ha	Pa	Mp	Ha/Pa + Pv	La	Ka	Ka + pv	Traktori	Raskaita [%]	Lkm yht.	Keskim. [ajon./h]	Kaista- jakauma
Etelä 15:50-16:59	Saapuva oikea	89,4	7,4	1,6	0,4	0,2	0,7	0,1	0,1	1,6	811	682	62 %
	Saapuva vasen	87,3	6,7	2,8	0,6	1,4	0,8	0,2	0,2	3,2	495	416	38 %
	Kiertävä	85,3	4,5	2,9	1,2	5,3	0,4	0,4	0,0	7,3	245	206	
Pohjoinen 15:47-16:52	Saapuva oikea	89,8	4,7	2,0	0,7	1,7	0,8	0,3	0,0	3,5	600	534	85 %
	Saapuva vasen	88,7	8,5	1,9	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,9	106	94	15 %
	Kiertävä	86,6	7,5	2,8	0,6	1,9	0,2	0,2	0,2	3,0	530	472	
Länsi 15:50-17:10	Saapuva	86,7	2,9	4,6	0,5	4,6	0,5	0,2	0,0	5,8	549	428	
	Kiertävä vasen	91,6	5,4	2,0	0,5	0,0	0,5	0,0	0,0	1,0	202	157	21 %
	Kiertävä oikea	92,1	5,0	1,3	0,7	0,0	0,8	0,1	0,0	1,6	747	582	79 %
Itä 15:48-16:28 (Saap. -16:54)	Saapuva	88,2	9,1	2,1	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	187	170	
	Kiertävä vasen*	89,0	5,9	1,5	1,1	1,5	0,7	0,0	0,4	3,7	273	400	37 %
	Kiertävä oikea*	86,1	7,5	2,6	0,9	1,7	1,3	0,0	0,0	3,9	466	682	63 %

\* = Arvioitu kaistajakauma

Ha = Henkilöauto (+ mopoauto)

Pa = Pakettiauto

Mp = Moottoripyörä tai mopo

Ha/Pa + Pv = Henkilö- tai pakettiauto ja peräkärry

La = Linja-auto

Ka = Kuorma-auto

Ka + pv = Kuorma-auto ja perävaunu

Traktori = Traktori, puimuri, työkonne tai muu hidas raskas ajoneuvo

Suutarila 2.10.2014		Kevyet ajoneuvot [%]			Raskaat ajoneuvot [%]					Raskaita [%]	Lkm yht.	Keskim. [ajon./h]	Kaista-jakauma
Tulosuunta	Välillä 6:45-8:00	Ha	Pa	Mp	Ha/Pa + Pv	La	Ka	Ka + pv	Traktori				
Etelä 6:45-8:00	Saapuva oikea	82,5	9,7	1,0	0,0	5,8	0,5	0,0	0,5	6,8	206	159	56 %
	Saapuva vasen	82,9	11,6	1,2	0,0	0,0	3,0	1,2	0,0	4,3	164	127	44 %
	Kiertävä	80,1	12,4	0,4	0,4	0,7	6,0	0,0	0,0	7,1	267	206	
Pohjoinen 6:45-7:50	Saapuva oikea	89,0	8,3	0,9	0,0	0,5	1,4	0,0	0,0	1,8	218	194	42 %
	Saapuva vasen	79,4	13,5	0,7	0,0	4,1	2,4	0,0	0,0	6,4	296	264	58 %
	Kiertävä	86,6	10,3	0,2	0,2	0,0	2,0	0,7	0,0	2,9	544	485	
Länsi 6:45-8:00	Saapuva oikea	83,2	9,7	0,0	2,7	0,0	4,4	0,0	0,0	7,1	113	87	33 %
	Saapuva vasen	80,3	13,6	0,0	0,0	0,9	5,3	0,0	0,0	6,1	228	176	67 %
	Kiertävä oikea	25,0	25,0	25,0	0,0	25,0	0,0	0,0	0,0	25,0	4	3	1 %
	Kiertävä vasen	80,1	12,8	1,2	0,2	3,4	2,2	0,0	0,0	5,8	413	319	99 %
Itä 6:45-7:50	Saapuva oikea	73,5	17,6	0,0	0,0	0,0	5,9	2,9	0,0	8,8	34	30	8 %
	Saapuva vasen	86,5	11,1	0,0	0,2	0,0	1,7	0,5	0,0	2,5	406	362	92 %
	Kiertävä oikea	79,9	11,8	0,7	0,0	6,9	0,0	0,0	0,7	7,6	144	128	41 %
	Kiertävä vasen	78,9	13,9	1,0	0,0	1,0	4,3	1,0	0,0	6,2	209	186	59 %

Ha = Henkilöauto (+ mopoauto)

Pa = Pakettiauto

Mp = Moottoripyörä tai mopo

Ha/Pa + Pv = Henkilö- tai pakettiauto ja peräkärry

La = Linja-auto

Ka = Kuorma-auto

Ka + pv = Kuorma-auto ja perävaunu

Traktori = Traktori, puimuri, työkone tai muu hidas raskas ajoneuvo

Suutarila 2.10.2014		Kevyet ajoneuvot [%]			Raskaat ajoneuvot [%]					Raskaita [%]	Lkm yht.	Keskim. [ajon./h]	Kaista-jakauma
Tulosuunta	Välillä 15:00-16:05	Ha	Pa	Mp	Ha/Pa + Pv	La	Ka	Ka + pv	Traktori				
Etelä 15:00-15:50	Saapuva oikea	81,1	12,5	1,2	0,5	3,2	1,5	0,0	0,0	5,1	408	369	68 %
	Saapuva vasen	87,4	9,9	1,0	0,5	0,0	0,5	0,5	0,0	1,6	191	173	32 %
	Kiertävä	87,7	9,9	0,0	0,3	0,0	1,9	0,2	0,0	2,4	616	558	
Pohjoinen 15:00-15:50	Saapuva oikea	82,9	10,8	2,7	0,0	0,9	2,7	0,0	0,0	3,6	111	129	35 %
	Saapuva vasen	80,0	12,9	0,5	0,5	4,8	1,4	0,0	0,0	6,7	210	245	65 %
	Kiertävä	84,7	11,7	1,4	0,6	0,0	1,4	0,3	0,0	2,2	359	419	
Länsi 15:00-16:05	Saapuva oikea	86,9	10,0	1,3	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	1,9	160	145	22 %
	Saapuva vasen	89,3	8,3	0,2	0,4	0,0	1,6	0,2	0,0	2,2	553	501	78 %
	Kiertävä oikea	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5	5	2 %
	Kiertävä vasen	81,0	13,0	0,3	0,3	4,1	1,3	0,0	0,0	5,7	315	285	98 %
Itä 15:00-15:50	Saapuva oikea	69,0	21,4	2,4	2,4	0,0	2,4	2,4	0,0	7,1	42	48	16 %
	Saapuva vasen	83,1	13,1	1,4	0,5	0,0	1,9	0,0	0,0	2,3	213	242	84 %
	Kiertävä oikea	80,8	12,3	1,2	0,0	3,8	1,9	0,0	0,0	5,8	260	295	47 %
	Kiertävä vasen	88,3	9,4	0,3	0,7	0,0	1,0	0,3	0,0	2,0	299	340	53 %

Ha = Henkilöauto (+ mopoauto)

Pa = Pakettiauto

Mp = Moottoripyörä tai mopo

Ha/Pa + Pv = Henkilö- tai pakettiauto ja peräkärry

La = Linja-auto

Ka = Kuorma-auto

Ka + pv = Kuorma-auto ja perävaunu

Traktori = Traktori, puimuri, työkonne tai muu hidas raskas ajoneuvo

Matinkylä 24.9.2015		Kevyet ajoneuvot [%]			Raskaat ajoneuvot [%]					Raskaita [%]	Lkm yht.	Keskim. [ajon./h]
Tulosuunta	Välillä 7:40-9:15	Ha	Pa	Mp	Ha/Pa + Pv	La	Ka	Ka + pv	Traktori			
Etelä 7:41-8:23 ja 8:26-9:15	Saapuva	87,2	6,7	1,5	0,2	2,1	1,8	0,5	0,0	4,6	849	543
	Kiertävä	89,6	4,5	0,6	0,0	2,4	2,5	0,5	0,0	5,3	845	541
Pohjoinen 7:41-8:10 ja 8:26-8:55	Saapuva	83,2	8,3	1,0	0,2	2,1	4,8	0,4	0,0	7,5	519	659
	Kiertävä	86,3	5,0	5,0	0,0	3,7	0,0	0,0	0,0	3,7	161	204
Länsi 7:40-8:24 ja 8:26-9:15	Saapuva	90,8	3,1	0,7	0,0	2,7	2,4	0,3	0,0	5,4	765	488
	Kiertävä	81,3	12,1	0,9	0,7	1,7	2,6	0,7	0,0	5,7	545	348
Itä 7:41-8:10 ja 8:26-8:55	Saapuva	89,2	4,0	3,6	0,0	2,4	0,4	0,0	0,4	3,2	250	265
	Kiertävä	92,6	3,1	0,4	0,1	2,0	1,6	0,2	0,0	4,0	806	855

Ha = Henkilöauto (+ mopoauto)

Pa = Pakettiauto

Mp = Moottoripyörä tai mopo

Ha/Pa + Pv = Henkilö- tai pakettiauto ja peräkärry

La = Linja-auto

Ka = Kuorma-auto

Ka + pv = Kuorma-auto ja perävaunu

Traktori = Traktori, puimuri, työkonne tai muu hidas raskas ajoneuvo

Matinkylä 24.9.2015		Kevyet ajoneuvot [%]			Raskaat ajoneuvot [%]					Raskaita [%]	Lkm yht.	Keskim. [ajon./h]
Tulosuunta	Välillä 14:54-18:35	Ha	Pa	Mp	Ha/Pa + Pv	La	Ka	Ka + pv	Traktori			
Etelä 14:54-17:40	Saapuva	88,1	7,6	1,5	0,4	1,1	1,2	0,1	0,0	2,8	1504	543
	Kiertävä	89,5	4,7	1,6	0,6	2,2	1,2	0,2	0,0	4,2	1252	452
Pohjoinen 14:54-15:20, 16:05-16:47 ja 17:16-17:41	Saapuva	89,5	5,5	1,3	0,4	1,8	1,5	0,1	0,0	3,8	1224	796
	Kiertävä	92,2	2,6	1,9	0,2	2,1	1,0	0,0	0,0	3,3	580	377
Länsi 14:54-18:35	Saapuva	90,9	3,8	1,4	0,2	2,6	0,9	0,2	0,0	3,9	1386	379
	Kiertävä	91,3	4,6	1,9	0,3	1,1	0,7	0,1	0,0	2,3	3336	913
Itä 14:54-15:20, 16:05-16:47 ja 17:16-17:41	Saapuva	90,3	4,3	2,1	0,2	1,6	1,3	0,2	0,0	3,3	611	396
	Kiertävä	90,2	5,7	0,8	0,4	1,6	1,2	0,2	0,0	3,3	1115	723

Ha = Henkilöauto (+ mopoauto)

Pa = Pakettiauto

Mp = Moottoripyörä tai mopo

Ha/Pa + Pv = Henkilö- tai pakettiauto ja peräkärry

La = Linja-auto

Ka = Kuorma-auto

Ka + pv = Kuorma-auto ja perävaunu

Traktori = Traktori, puimuri, työkone tai muu hidas raskas ajoneuvo

Hyrylä pohjoinen		28.10.2015			Kevyet ajoneuvot [%]			Raskaat ajoneuvot [%]				
Tulosuunta (n. minuutin katkos kellonaikoina 7:45 ja 8:30)	6:30-9:00	Ha	Pa	Mp	Ha/Pa + Pv	La	Ka	Ka + pv	Traktori	Raskaita [%]	Lkm yht.	Keskim. [ajon./h]
Etelä	Saapuva	70,8	15,0	0,0	1,6	0,1	7,0	5,5	0,0	14,2	825	341
	Kiertävä	83,7	11,3	0,2	1,2	0,9	1,7	1,0	0,1	4,9	1090	450
Pohjoinen	Saapuva	80,6	12,7	0,0	1,2	0,3	2,3	2,8	0,0	6,7	1841	748
	Kiertävä	85,8	9,6	0,0	0,6	0,6	2,4	0,9	0,1	4,6	1264	514
Länsi	Saapuva	81,8	10,5	0,3	0,8	0,4	3,8	2,3	0,1	7,4	1182	488
	Kiertävä	82,9	11,7	0,0	1,1	0,3	1,8	2,1	0,1	5,4	1916	790
Itä	Saapuva	89,4	8,5	0,0	0,6	1,0	0,5	0,0	0,1	2,1	1241	507
	Kiertävä	71,1	14,4	0,0	1,4	0,1	6,9	6,0	0,1	14,4	962	393

Ha = Henkilöauto (+ mopoauto)

Pa = Pakettiauto

Mp = Moottoripyörä tai mopo

Ha/Pa + Pv = Henkilö- tai pakettiauto ja peräkärri

La = Linja-auto

Ka = Kuorma-auto

Ka + pv = Kuorma-auto ja perävaunu

Traktori = Traktori, puimuri, työkonne tai muu hidas raskas ajoneuvo

Hyrylä pohjoinen		28.10.2015			Kevyet ajoneuvot [%]					Raskaat ajoneuvot [%]		
Tulosuunta	Välillä 14:55-18:00	Ha	Pa	Mp	Ha/Pa + Pv	La	Ka	Ka + pv	Traktori	Raskaita [%]	Lkm yht.	Keskim. [ajon./h]
Etelä 15:00-15:10 ja 16:04-18:00	Saapuva	83,1	10,6	0,1	1,6	0,0	2,5	2,0	0,0	6,1	1418	681
	Kiertävä	87,3	10,1	0,1	1,0	0,6	0,7	0,2	0,0	2,5	1255	603
Pohjoinen 14:55-15:24 ja 16:05-18:00	Saapuva	82,1	9,6	0,3	2,1	0,3	2,5	3,1	0,0	8,1	1166	490
	Kiertävä	86,6	8,8	0,6	1,2	0,5	2,0	0,2	0,2	4,1	1220	513
Länsi 14:55-15:24 ja 16:05-18:00	Saapuva	86,3	10,6	0,1	0,8	0,4	1,4	0,4	0,0	3,0	1420	650
	Kiertävä	82,6	9,2	0,3	2,2	0,2	2,1	3,3	0,0	7,9	1030	471
Itä 15:00-15:10 ja 16:04-18:00	Saapuva	89,6	7,4	0,6	0,6	1,0	0,6	0,1	0,1	2,3	1237	517
	Kiertävä	81,7	11,8	0,1	1,2	0,0	2,9	2,2	0,1	6,4	1841	769

Ha = Henkilöauto (+ mopoauto)

Pa = Pakettiauto

Mp = Moottoripyörä tai mopo

Ha/Pa + Pv = Henkilö- tai pakettiauto ja peräkärry

La = Linja-auto

Ka = Kuorma-auto

Ka + pv = Kuorma-auto ja perävaunu

Traktori = Traktori, puimuri, työkone tai muu hidas raskas ajoneuvo

**Liite 2. Purkautumisaikavälit.**

(A.k.a. = aritmeettinen keskiarvo, E.a.v = Eteläinen haara, aamuruuhka, vasen saapuva kaista)

Hyrylä 2-kaistainen				
Suunta/aika/kaista	N raskaat	Tf	N ei-raskaat	Tf
E.a.v	11	4,483818182	48	1,8541875
E.a.o	12	4,166	40	1,848
E.i.v	56	3,661803571	37	1,46524324
E.i.o	29	3,411896552	225	1,70447556
P.a.v	3	3,393	93	1,88239785
P.a.o	12	4,582916667	96	2,1795625
P.i.v	2	3,917	3	1,38966667
P.i.o	12	4,20025	7	2,043
I.a	0		0	
I.i	1	3,034	2	2,05
L.a.v	2	2,72	13	1,80192308
L.a.o	22	3,743545455	116	2,18850862
L.i.v	2	5,0345	4	1,6505
L.i.o	17	3,776764706	119	2,19298319
	A.k.a.	3,82	A.k.a.	1,93



Suutarila				
Suunta/aika/kaista	N raskaat	Tf	N ei-raskaat	Tf
eav	1	5,174	2	2,2845
eao	5	4,525	15	2,05086667
eiv	1	3,668	7	2,07642857
eio	6	3,478	8	1,599875
pav	6	3,914666667	11	1,85536364
pav2	5	3,8738	7	1,94785714
pao	0		3	1,82333333
pao2	0		5	2,1072
piv	3	3,234666667	13	1,83623077
pio	0		4	2,233
iav	6	4,392666667	56	1,93614286
iao	0		0	
iiv	1	2,834	38	2,05721053
iio	0		0	
lao	3	4,560333333	0	
lav	1	7,509	6	2,22383333
liv	3	2,833666667	6	1,46133333
lio	2	5,8005	11	2,21209091
	A.k.a. 4,08		A.k.a. 1,97	

Kirkkonummi				
Suunta/aika/kaista	N raskaat	Tf	N ei-raskaat	Tf
pao	17	3,547117647	11	1,82336364
pav	0		0	
pio	4	4,3165	11	1,87318182
piv	0		0	
eao	15	4,369866667	41	2,02565854
eav	13	4,578076923	30	2,0001
eio	6	4,605	113	2,12239823
eiv	10	4,4917	32	2,22740625
ia	0		0	
la	3	3,693	7	2,09742857
li	10	4,6206	20	1,94185
	A.k.a.	4,26	A.k.a.	2,07

Hyrylä pohjoinen					
Suunta/aika	Video nro.	N raskaat	Tf	N ei-raskaat	Tf
Pa	1	22	3,990590909	49	1,88395918
	2	11	4,579090909	102	2,44338235
	3	10	4,8938	93	2,39929032
Pi	1	6	5,111833333	17	2,45305882
	2	5	3,6936	40	2,114525
	3	2	5,6265	5	1,7008
	4	15	3,7186	26	2,09246154
Ia	1	5	4,7026	83	2,08837349
	2	2	3,599	88	2,17597727
	3	3	3,867	72	2,21601389
Ii	1	1	4,701	65	2,44606154
	2	1	2,934	127	2,17817323
	3	0		12	1,938
	4	1	3,752	122	2,38240164
La	1	4	4,6615	91	2,48705495
	2	1	3,767	21	2,31790476
	3	2	4,4165	55	2,45970909
Li	1	4	4,45925	36	2,29897222
	2	7	3,400142857	134	2,33398507
	3	1	3,626	7	2,32228571
	4	4	3,7695	150	2,45288
Ea	1	10	4,3175	21	2,309
	2	5	4,161	50	2,4245
	3	8	5,633875	20	2,23885
Ei	1	1	5,5	17	2,06676471
	2	3	3,699666667	139	2,35038849
	3	0		21	2,15585714
	4	10	4,2355	95	2,21146316
		A.k.a.	<b>4,28</b>	A.k.a.	<b>2,30</b>

Matinkylä					
Suunta/aika	Video nro.	N raskaat	Tf	N ei-raskaat	Tf
la	1	9	4,767333333	67	2,33695522
	2	8	5,13375	52	2,52025
li	1	7	5,005571429	45	2,27726667
	2	0		34	2,39605882
	3	0		42	2,28771429
ea	1	0		22	2,48163636
	2	0		69	2,5102029
ei	1	0		56	2,11346429
	2	0		99	2,52682828
ia	1	0		9	2,35577778
	2	0		8	3,279125
ii	1	2	4,3995	12	2,40275
	2	0		19	2,31057895
	3	1	6,166	12	2,19758333
pa	1	14	4,188142857	17	2,159
	2	12	4,11675	17	2,05676471
pi	1	6	4,423	20	2,2945
	2	7	4,386285714	48	2,4653125
	3	3	4,367333333	34	2,50091176
		A.k.a.	<b>4,53</b>	A.k.a.	<b>2,39</b>

**Liite 3. Estimaatit kriittisille aikaväleille liittymä- ja haara-kohtaisesti sekä pois jääneet haarat ja suurimalle hylätylle aikavälille asetettu minimiarvo suurimman uskottavuuden menetelmässä.**

(pao2 = pohjoinen, aamu, oikea saapumiskaista, 2. video)

Suutarila		Minimiarvo		
Haara/aika/kaista	N	hylätylle aikavälille maximum likelihoudissa	Tc Max. Lik.	Tc Raff
eav	164	0,3	2,7	2,7
eao	207	0,3	2,7	2,6
eiv	191	0,3	3,1	3,0
eio	407			2,7
pav	294	0,3	2,6	2,7
pav2	187	0,3	3,2	3,2
pao	217	0,3	2,8	2,8
pao2	121	0,3	3,3	3,4
piv	209	0,3	2,4	2,5
pio	111	0,3	2,9	2,8
iav	406	0,3	2,7	2,7
iao	34			4,5
iiv	212	0,3	2,6	2,7
iio	40	0,3	3,2	3,3
lav	227	0,0	2,2	2,2
lao	109			4,0
liv	552			3,1
lio	107			3,5

Kirkkonummi				
Haara/aika/kaista	N	Min	Tc Max. Lik.	Tc Raff
pao	780	0,3	2,6	2,6
pav	41	0,4	2,9	2,8
pio	599	0,2	2,5	2,7
piv	106	0,2	2,7	3,0
eao	659	0,3	3,2	3,2
eav	614			3,2
eio	809	0,3	2,8	2,9
eiv	492	0,3	2,8	3,0
ia vk	17	0,3	3,1	3,2
ia ok	6	0,3	3,1	3,0
la okiert	78	0,3	2,9	2,9
li okiert	140	0,3	2,6	2,6

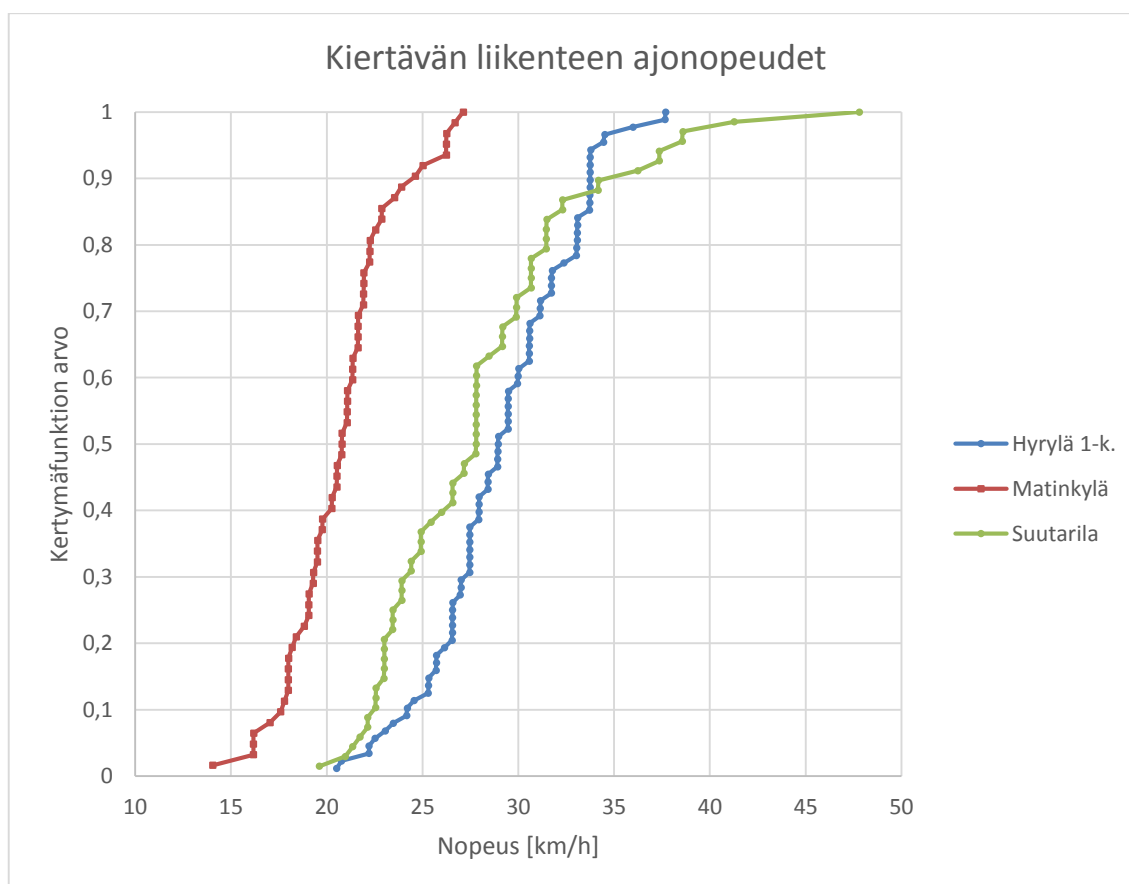
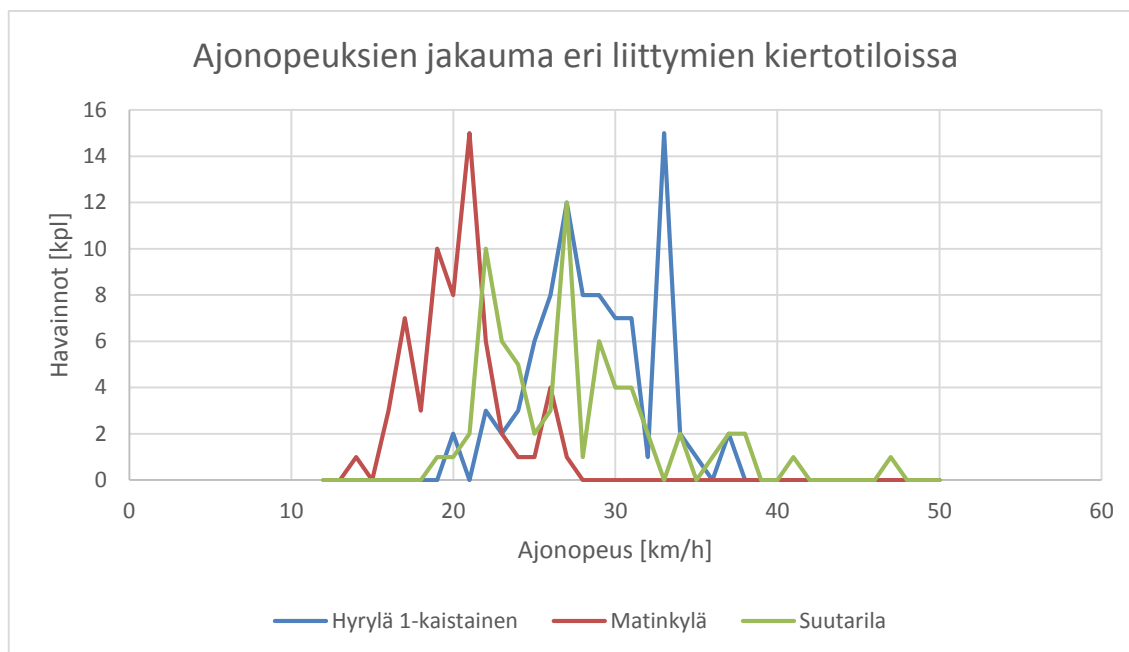
<b>Hyrylä 2-kaist.</b>				
Haara/aika/kaista	N	Min	Tc    Max. Lik.	Tc Raff
eav	381	0,4	3,4	3,5
eao	315	0,4	2,8	2,7
eiv	1484	0,2	2,4	2,7
eio	1474	0,2	2,4	2,6
pav	541	0,2	2,5	2,6
pao	502	0,3	2,8	2,8
piv	504	0,2	2,4	2,4
pio	630	0,2	2,5	2,7
Lav	267	0,3	3,0	3,0
Lao	654	0,3	3,2	3,3
Liv	224	0,3	3,0	3,0
Lio	603	0,3	2,6	2,6
la vas. käänt.	81	0,3	3,3	3,1
la oik. käänt.	33	0	3,1	3,0
li vas. käänt.	88	0,3	2,4	2,4
li oik. käänt.	94	0	2,8	2,8

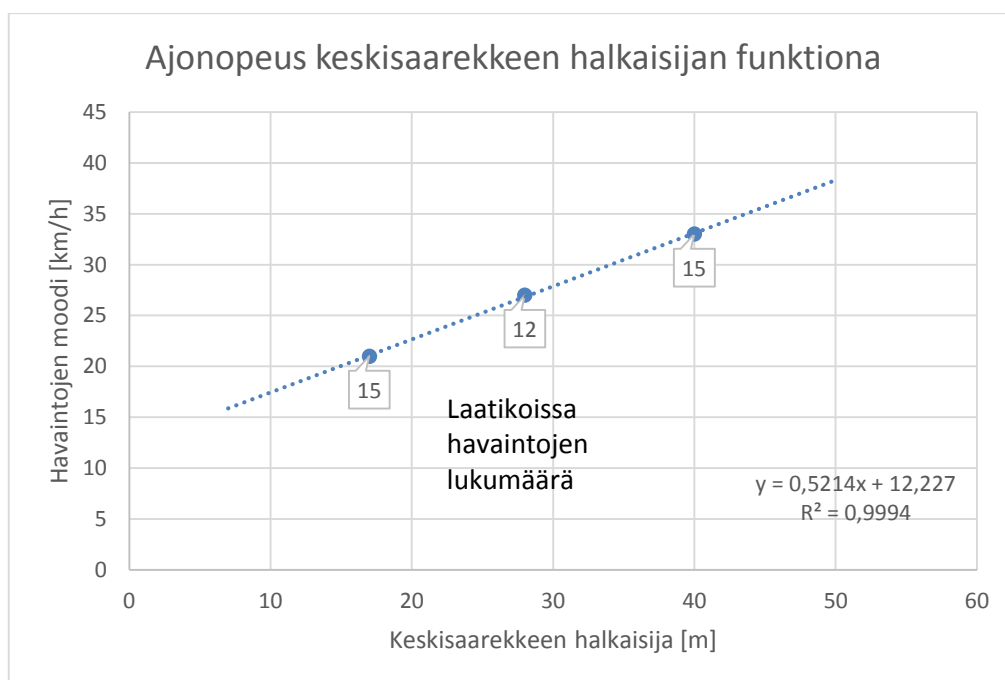
<b>Matinkylä</b>				
Haara/aika	N	Min	Tc    Max. Lik.	Tc Raff
Li1	442			2,7
Li2	456			2,7
Li3	486			2,7
Ei1	621	0,2	2,4	2,5
Ei2	878	0,2	2,3	2,4
li1	120	0,2	2,1	2,3
li2	327	0,2	2,4	2,5
li3	160	0,2	2,4	2,6
Pi1	289	0,3	2,3	2,5
Pi2	582	0,3	2,5	2,6
Pi3	336	0,2	2,3	2,5

<b>Hyrylä 1-kaist.</b>				
Haara/aika	N	Min	Tc    Max. Lik.	Tc Raff
P.a (1)	984	0,2	2,7	2,8
P.a	506	0,3	2,8	2,8
P.a (2)	344	0,3	2,8	2,8
P.i	223	0,3	3,0	3,1
P.i (2)	437	0,3	2,8	2,8
P.i (3)	102	0,2	2,6	2,7
P.i (4)	403	0,3	3,0	3,0
I.a (1)	677			3,2
I.a	333	0,2	2,5	2,6
I.a (2)	230	0,3	2,8	2,8
I.i	225	0,3	2,6	2,7
I.i (2)	478	0,3	2,7	2,7
I.i (3)	105	0,2	2,3	2,6
I.i (4)	427			3,0
L.a (1)	546	0,3	2,8	2,8
L.a	396	0,3	2,5	2,6
L.a (2)	238	0,3	2,6	2,6
L.i	151	0,2	2,5	2,7
L.i (2)	656	0,2	2,3	2,4
L.i (3)	88	0,3	2,7	2,8
L.i (4)	519	0,2	2,5	2,6
E.a (1)	413	0,2	2,7	2,7
E.a	264	0,2	2,6	2,6
E.a (2)	146	0,2	2,6	2,6
E.i	107	0,2	2,3	2,4
E.i (2)	588	0,2	2,4	2,5
E.i (3)	146	0,2	2,1	2,1
E.i (4)	566	0,2	2,5	2,6

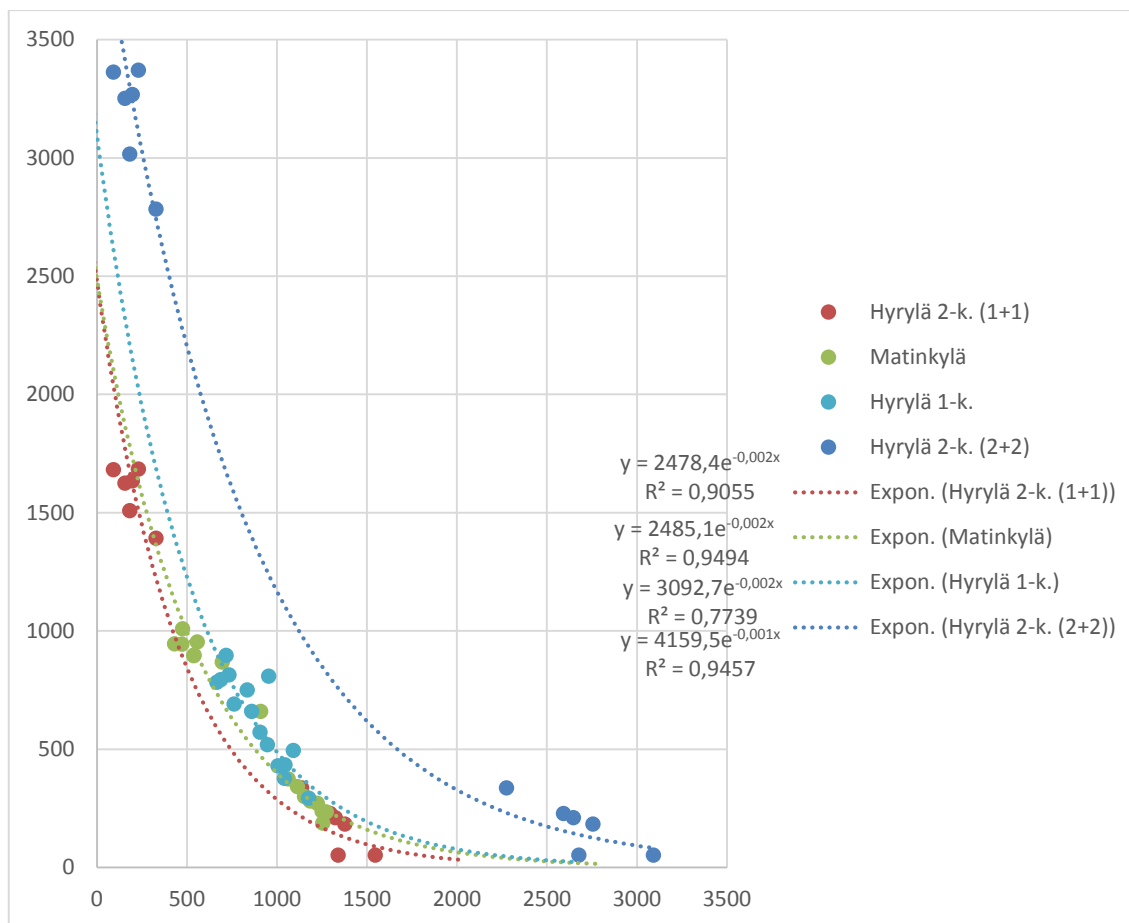


## Liite 4. Kiertävän liikenteen ajonopeudet.



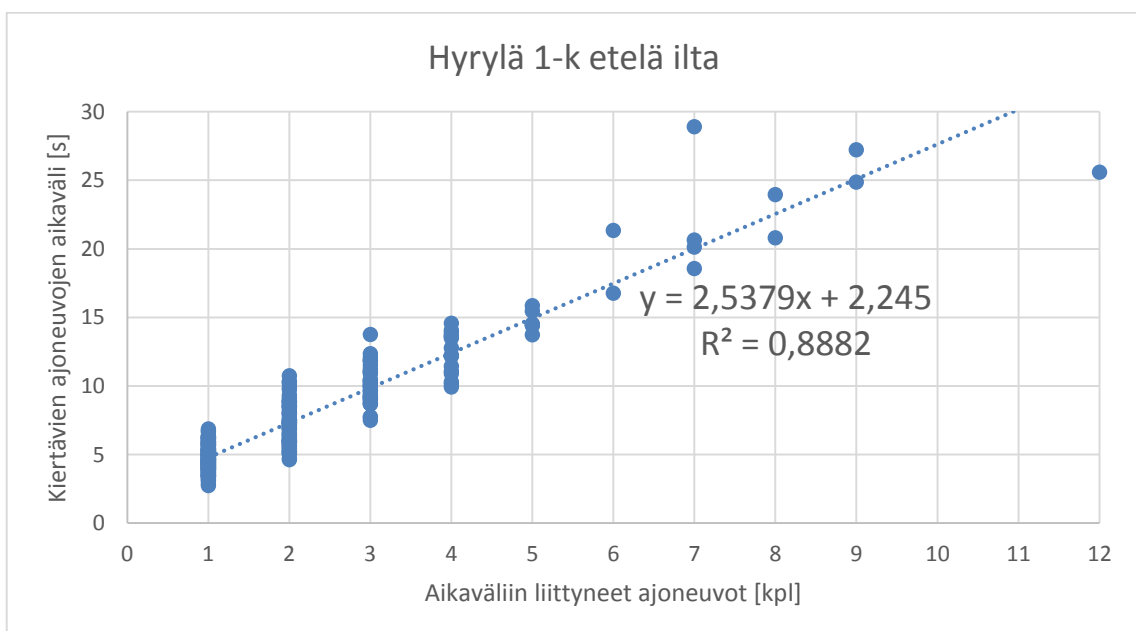
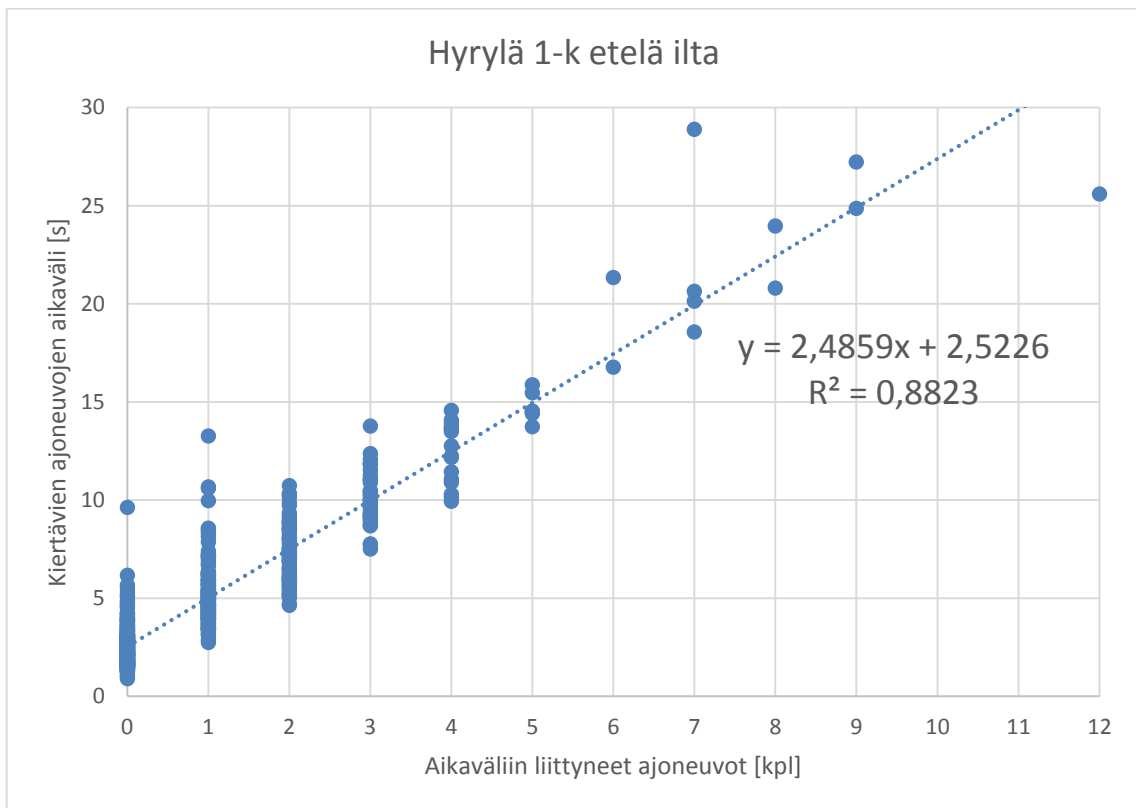


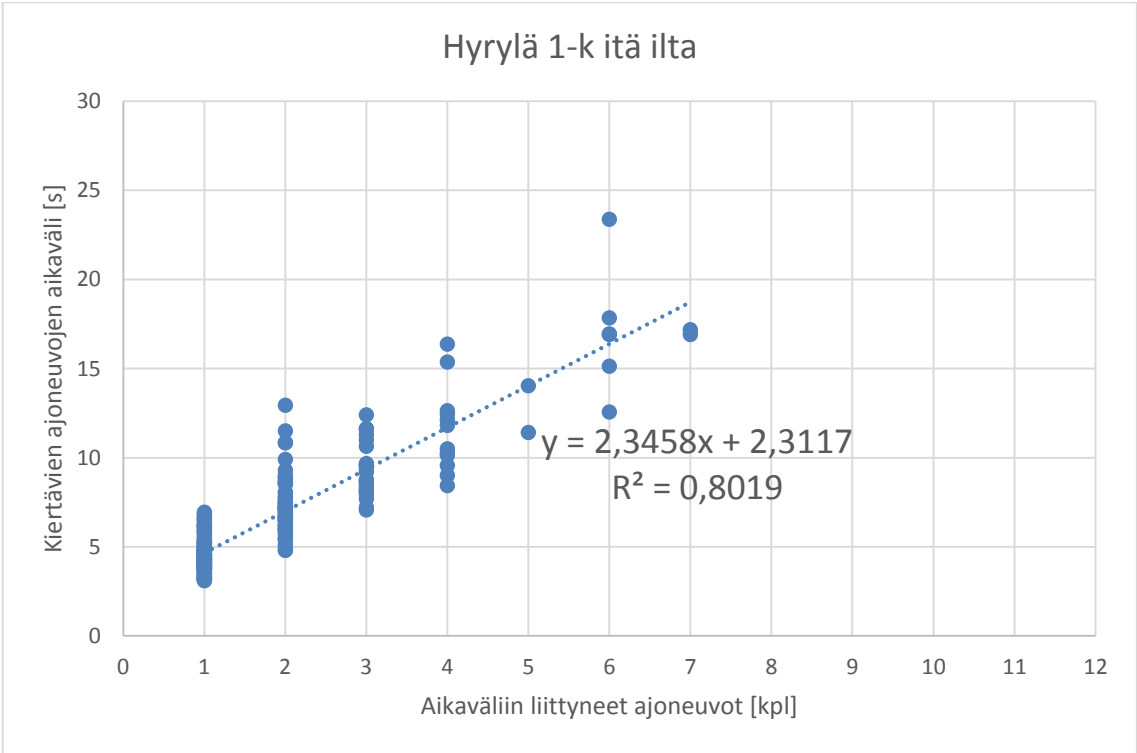
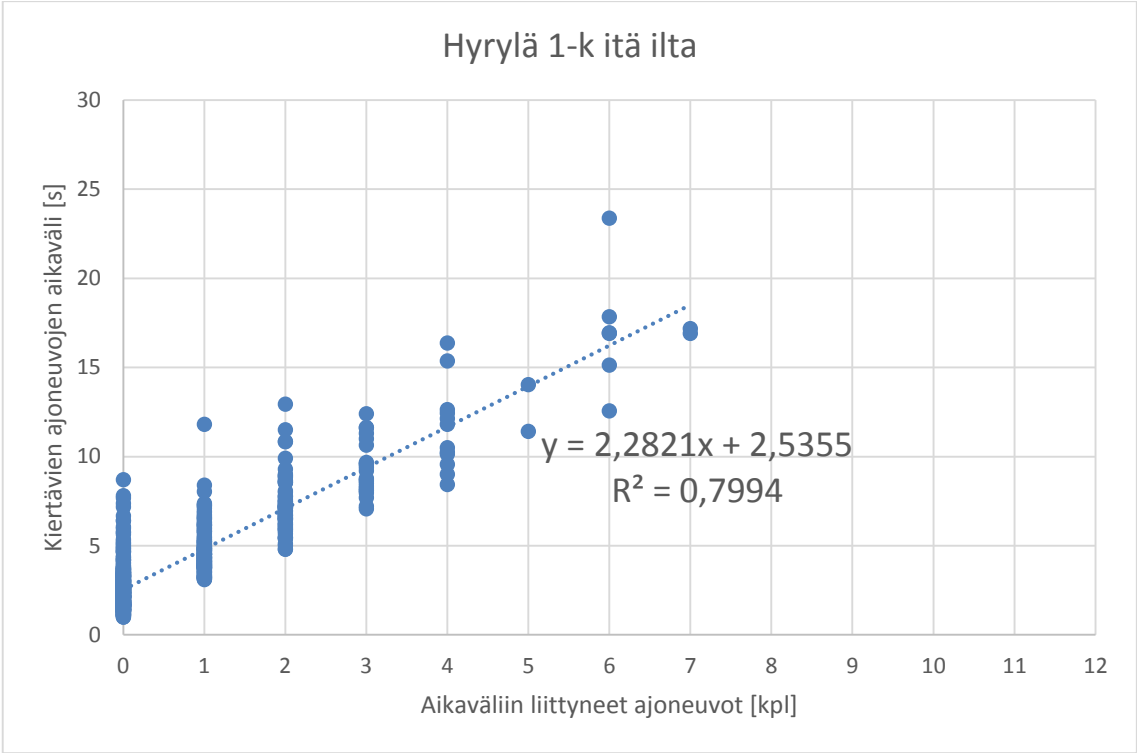
## Liite 5. Lyhyiden jonojen ajalta mitatut liikennemäärät.

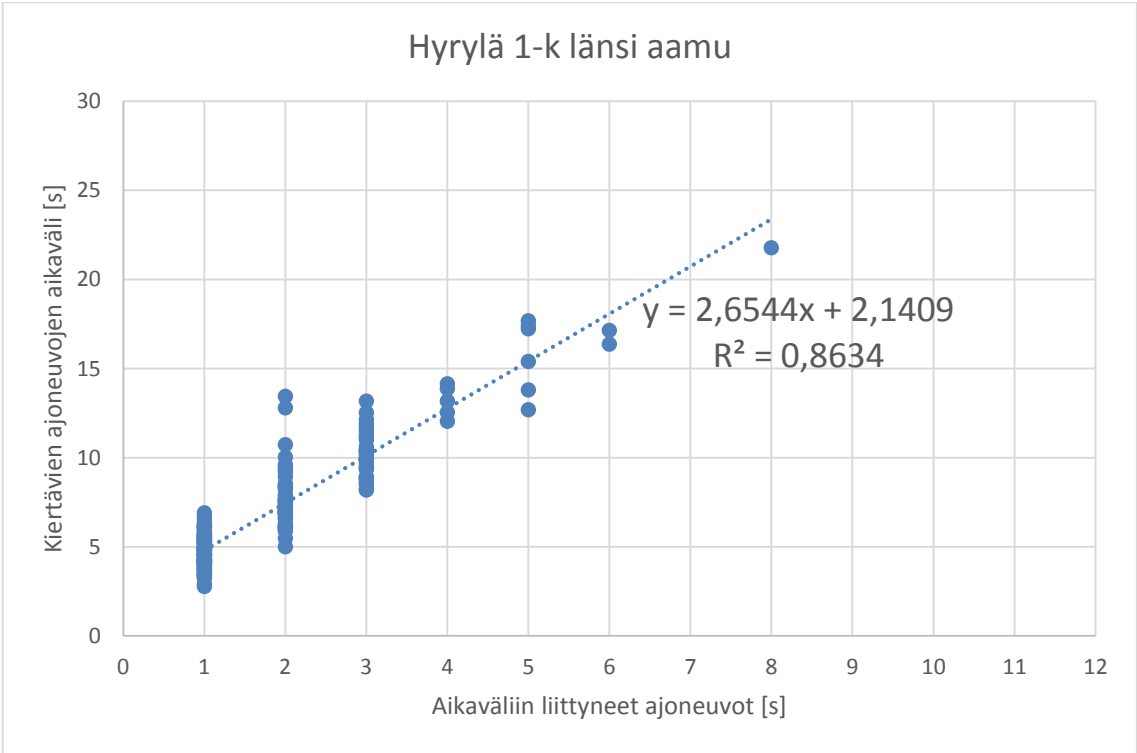
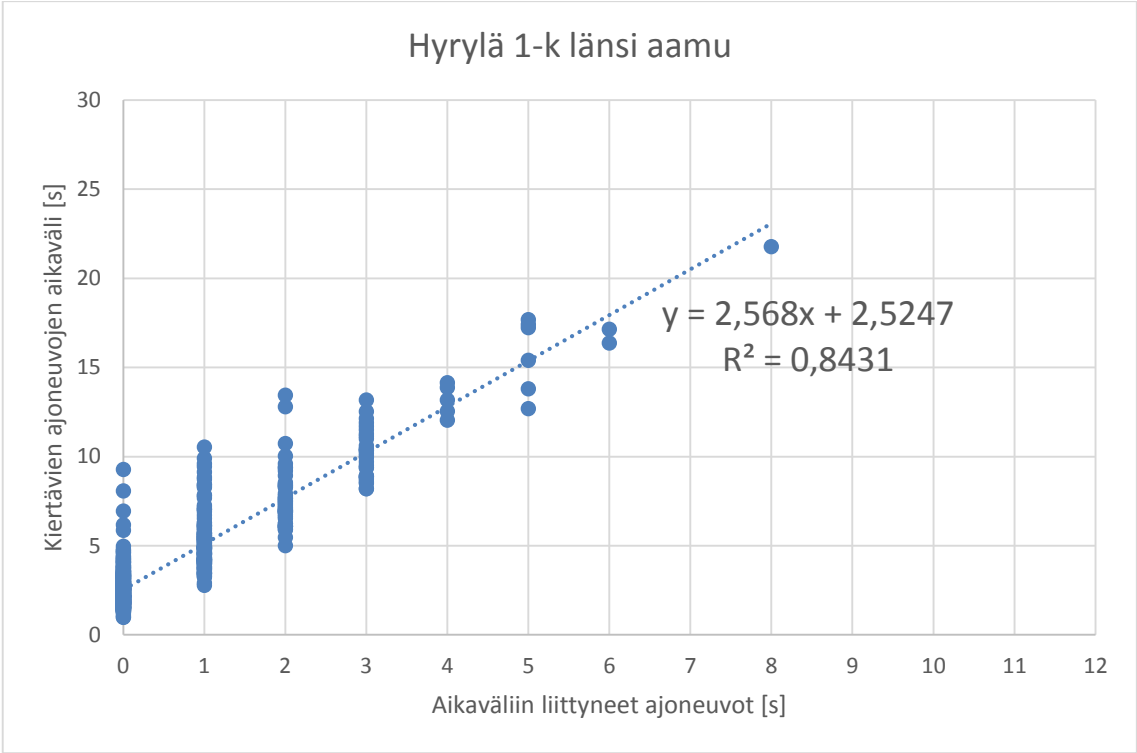


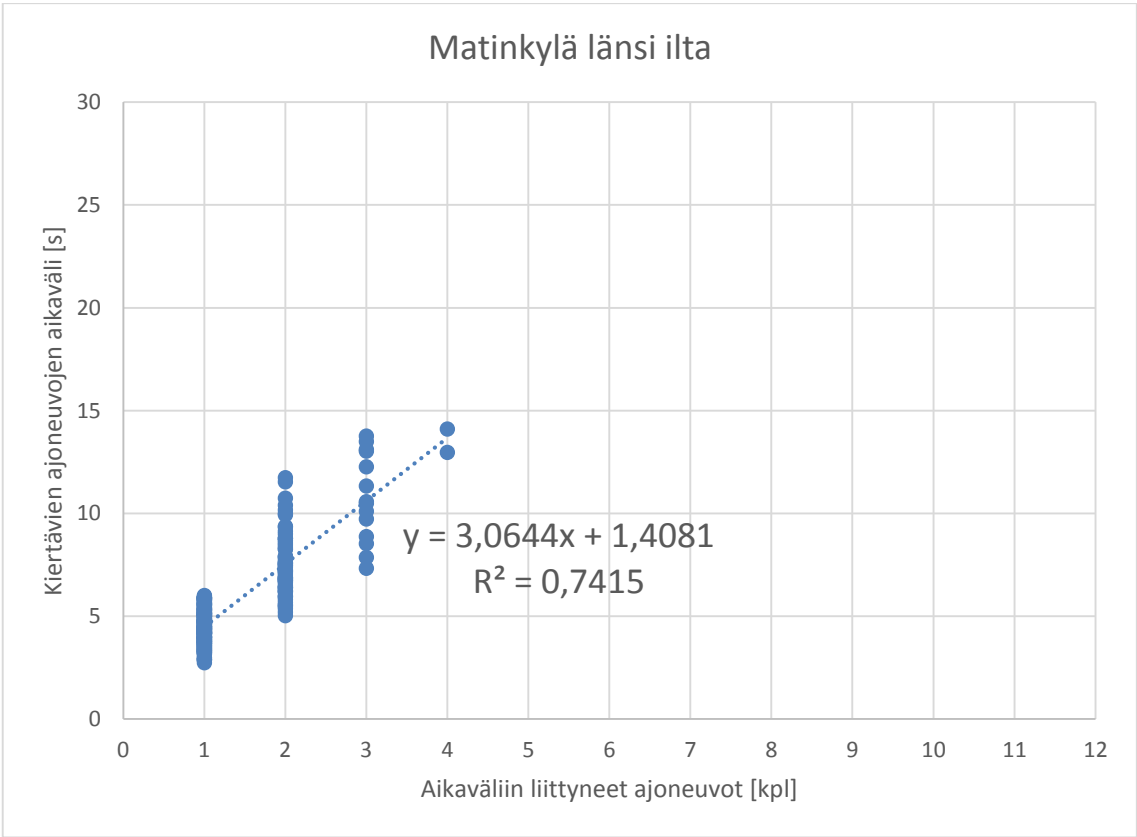
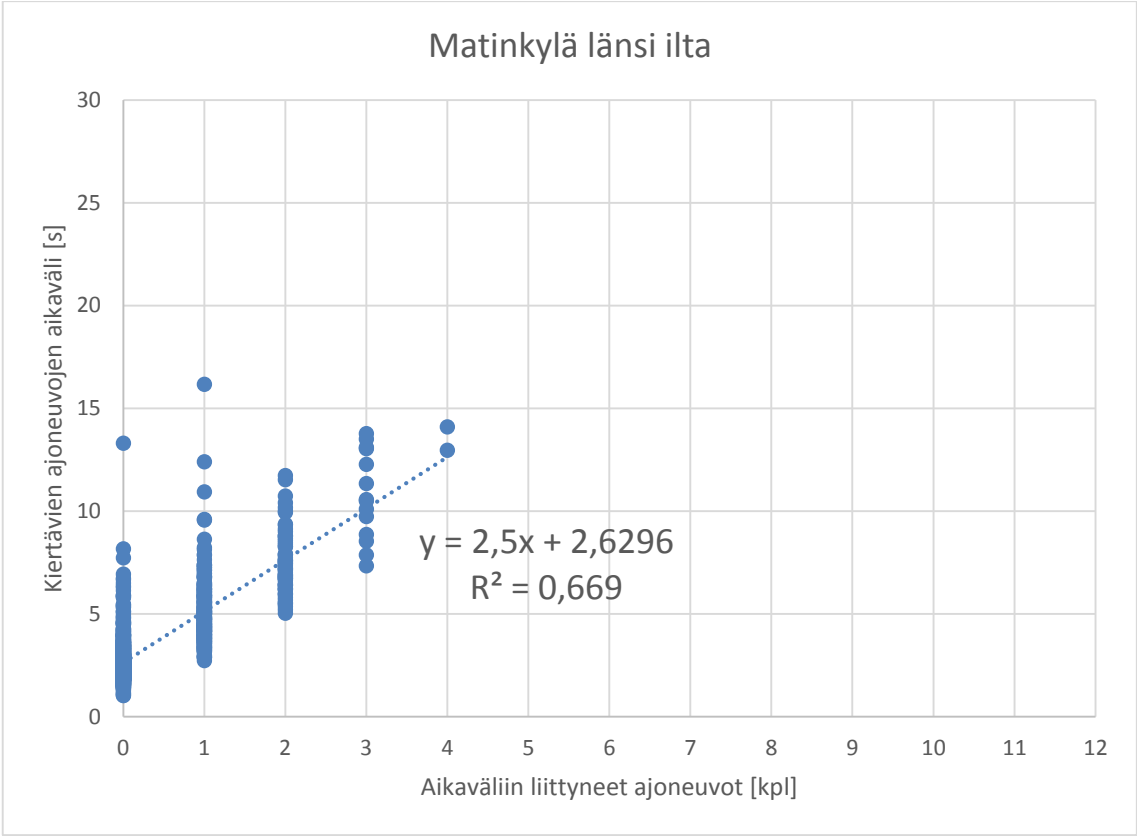
**Liite 6. Saapuneet ajoneuvot / kiertävän liikenteen aikaväli.**

Alemmista kuvaajista on jätetty pois sellaiset aikavälit, joihin ei liittynyt yhtään ajoneuvoa.

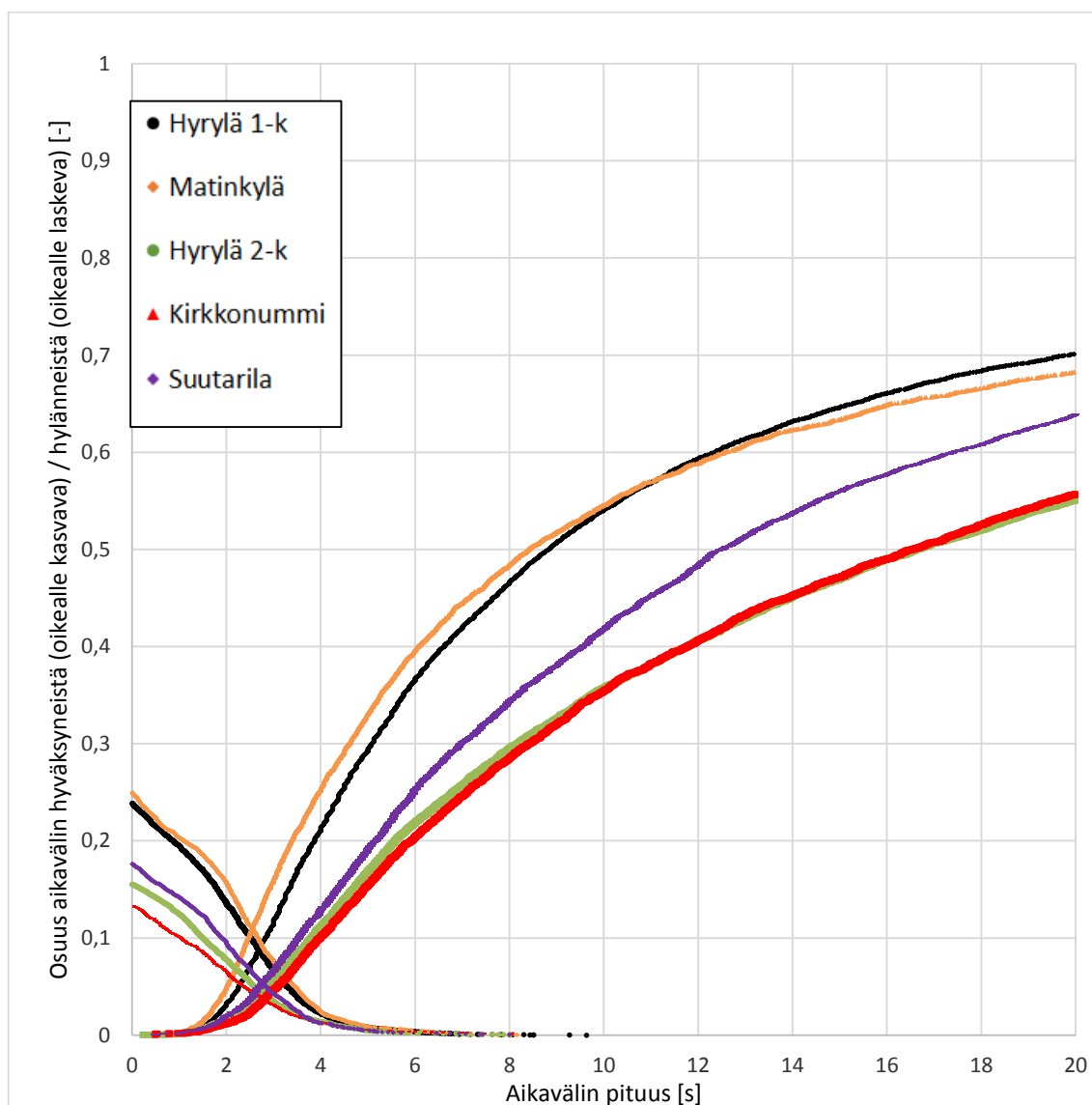




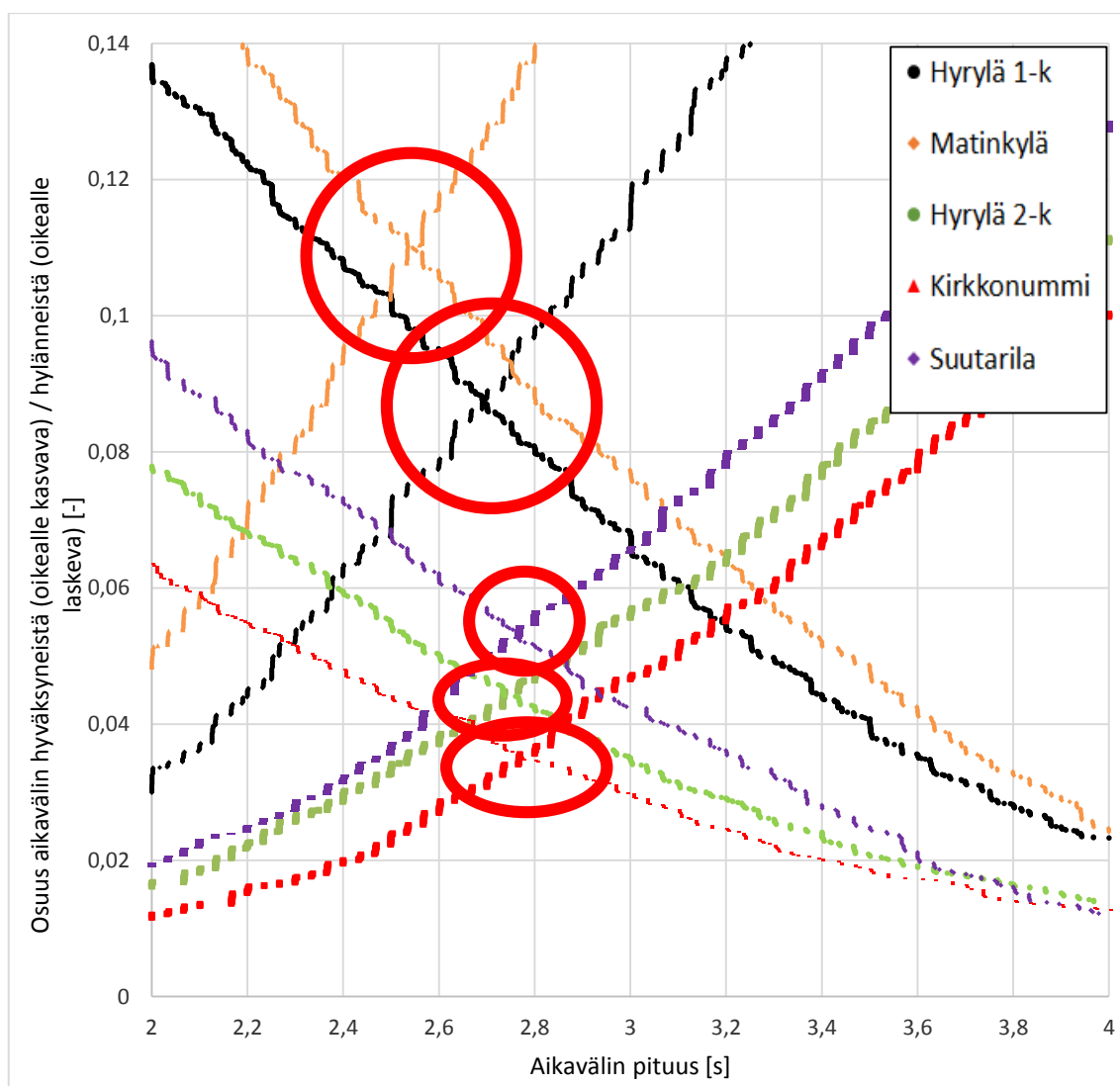




## Liite 7. Hyväksytyjen ja suurimpien hylättyjen aikavälien kertymäfunctiot liittymittäin.





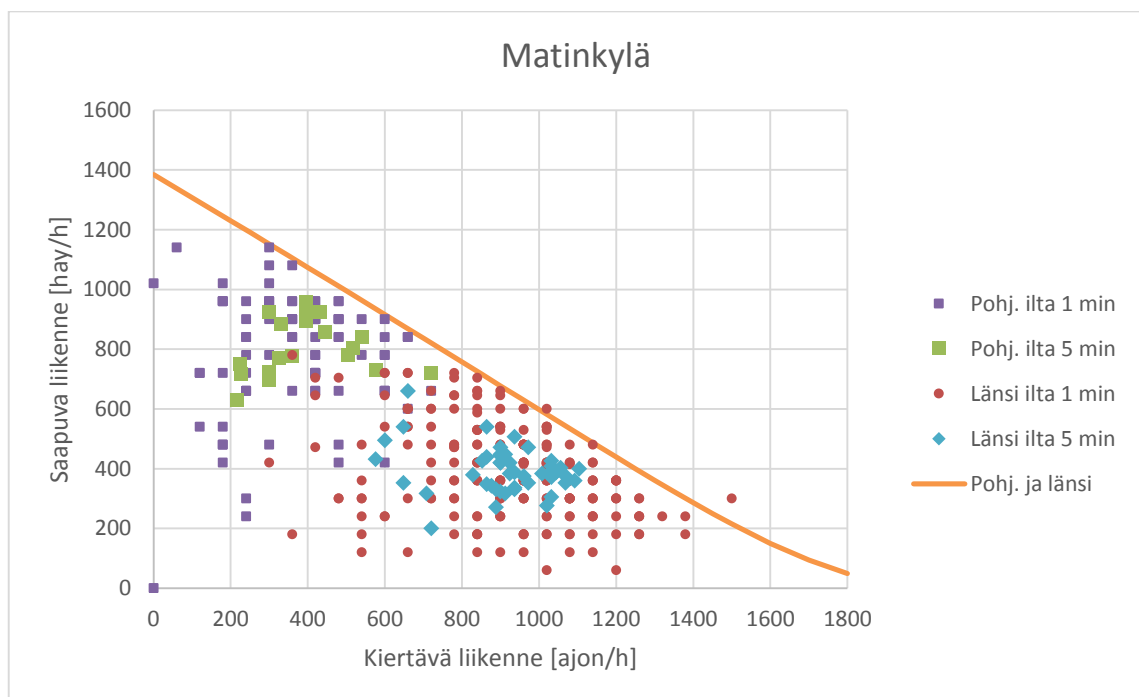
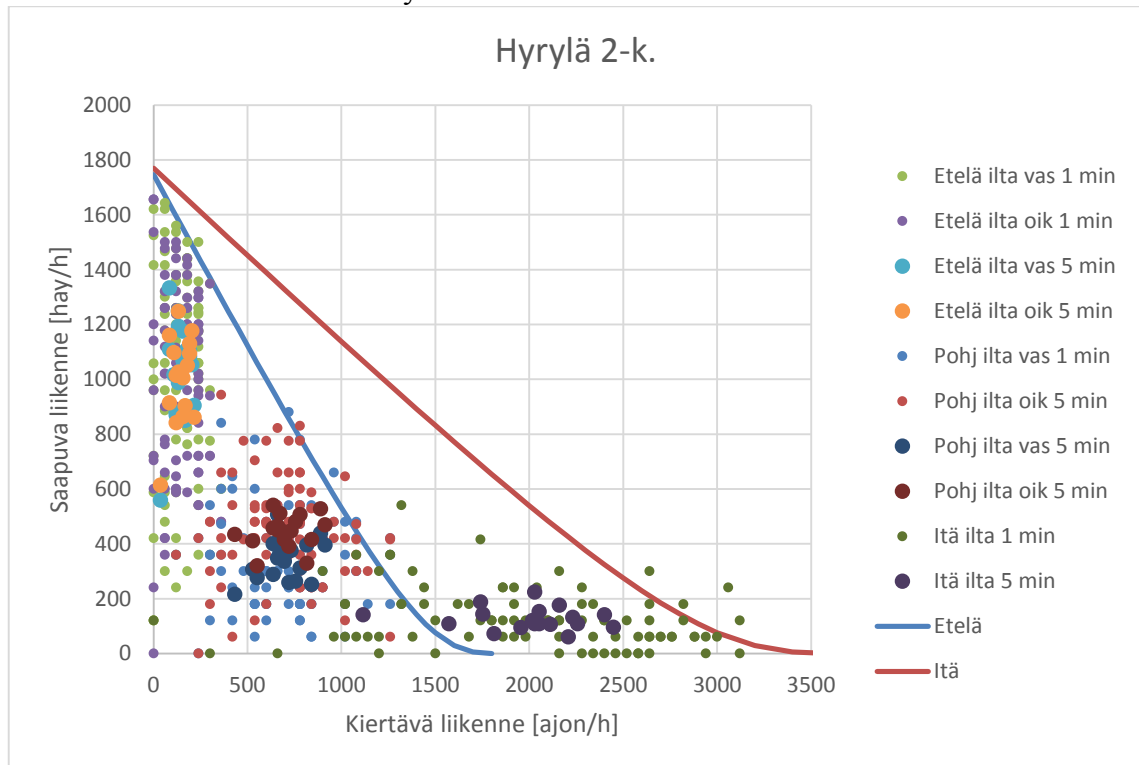


**Liite 8. Saapuvan ajoneuvon konfliktialueelle siirtymisen kesto kiertävän ajoneuvon jälkeen, kiertävän ajoneuvon tyyppin mukaan [s].**

Kiertävä ajoneuvo	Matinkylä	Hyrylä 1-k.	Hyrylä 2-k.	Keskiarvo
Ha	1,86	1,90	1,63	<b>1,8</b>
Pa	1,95	2,12	2,06	<b>2,0</b>
Mp	1,43			<b>1,4</b>
Ha/pa +pv		2,82	1,92	<b>2,4</b>
La	3,72	4,28	2,90	<b>3,6</b>
Ka	3,19	3,30	4,24	<b>3,6</b>
Ka + pv		4,75	4,27	<b>4,5</b>

## Liite 9. Liikennemäärät yhden ja viiden minuutin aikajaksoilta.

Molemmissa kuvissa olevat käyrät ovat vain hahmottamisen avuksi.



## Liite 10. Eri menetelmillä laskettu välityskyky ja mitattu välityskyky.

Ylemmissä kuvissa regressiosuora kulkee origon kautta, alemmissa ei.

